

## Une revue de littérature sur la « science citoyenne » : la production de connaissances naturalistes à l'ère numérique★

Patrícia Dias da Silva<sup>1,a,\*</sup>, Lorna Heaton<sup>1,a</sup> et Florence Millerand<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> Communication, Université de Montréal, CIRST, Montréal, Québec, Canada

<sup>2</sup> Communication, Université du Québec à Montréal, CIRST, Montréal, Québec, Canada

Reçu le 18 mai 2016. Accepté le 6 juillet 2017

**Résumé** – Cette revue de littérature, majoritairement en anglais, sur les sciences citoyennes à l'ère numérique, montre que le libellé « science citoyenne » recouvre de multiples réalités et que le phénomène lui-même reste peu théorisé. La revue de littérature expose les définitions principales et discute les typologies disponibles dans la littérature pour étudier la participation des non-professionnels à la production de connaissances dans les sciences de la nature. Trois enjeux majeurs sont abordés : 1) les motivations des participants dans les projets de science citoyenne ; 2) l'expertise ; 3) la légitimité et la qualité des données. Le propos est illustré par des exemples tirés de travaux empiriques réalisés sur les « sciences citoyennes 2.0 », menés sur plusieurs années au sein de terrains de recherche dans les domaines de la botanique et de l'entomologie.

**Mots-clés** : environnement / recherche / science participative / amateur / revue de littérature

**Abstract** – **A review of the citizen science literature: producing naturalist knowledge in the digital age.** This review of the literature explores the production of scientific knowledge in ecological and environmental sciences, such as botany or zoology, by non-professionals using digital tools and platforms. We argue that “citizen science” is under-theorized, given the case-based nature of much of this literature. We start by clarifying differences between today's citizen science projects and previous lay participation in naturalist enquiries. This is followed by a short discussion of typologies of citizen science projects and the various terms used to identify contributors. Three main issues are identified: participants' motivations, issues of expertise and different types of knowledge, and the legitimacy and quality of contributions. We draw on specific examples from our fieldwork on Web 2.0 citizen science projects conducted over several years in botany and entomology. This review highlights the multiple realities of citizen science, and points to changes in the division of labour between scientists and non-scientists, as well as the development of technological innovations that facilitate the participation of heterogeneous actors.

**Keywords:** environment / research / citizen science / amateur / literature review

Les publics – qu'on les appelle citoyens, bénévoles ou amateurs – participent à l'activité scientifique depuis

longtemps, et cela de différentes manières<sup>1</sup>. Ils peuvent être consultés au sujet des politiques publiques ou collaborer à la production de connaissances scientifiques, voire même participer en amont à la définition des projets

★ Voir dans ce numéro les autres contributions au dossier « Des recherches participatives dans la production des savoirs liés à l'environnement ».

\*Auteur correspondant : [pdiasdasilva@gmail.com](mailto:pdiasdasilva@gmail.com)

<sup>a</sup> Patrícia Dias da Silva, Lorna Heaton et Florence Millerand sont également membres du Laboratoire de communication médiatisée par ordinateur (LabCMO), <http://cmo.uqam.ca/>.

<sup>1</sup> Ce travail a été réalisé dans le contexte du projet de recherche 435-2013-0662 subventionné par le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH) du Canada. Certains éléments de cette revue de littérature ont été publiés en anglais dans une note de recherche (Dias da Silva et Heaton, 2015).

de recherche. Au cours des dernières années, le nombre de projets scientifiques sollicitant la participation du public a fortement augmenté. Un éditorial de la revue *Natures Sciences Sociétés* (Hubert *et al.*, 2013, p. 1) précisait à ce sujet: «Depuis quelques années, les recherches participatives sont à l'honneur et sont présentées comme une des façons de rapprocher chercheurs et citoyens dans de nombreux domaines».

L'intérêt des gouvernements pour le sujet est manifeste et plusieurs rapports ont été rédigés : le rapport Houllier en France (Houllier et Merilhou-Goudard, 2016), le rapport *Understanding citizen science and environmental monitoring* du Musée d'histoire naturelle de Londres (Roy *et al.*, 2012) ainsi que les *Green paper* et *White paper on citizen science* de la Commission européenne (Societize consortium, 2013 ; Serrano Sanz *et al.*, 2014). Les démarches de recherches participatives sont plurielles et concernent une vaste diversité de domaines – de la santé à la gestion adaptative des ressources naturelles en passant par l'écologie et l'agriculture (Houllier et Merilhou-Goudard, 2016). Les termes eux-mêmes diffèrent : alors que l'expression « science participative » est préconisée en français, celle de *citizen science* est utilisée dans le monde anglosaxon. Dans tous les cas, ces initiatives encouragent les chercheurs à s'interroger sur les modalités des relations, les finalités et les formes d'implication entre chercheurs et citoyens.

Si les thèmes de la participation et de la prise de parole citoyennes dans les débats de société ont reçu une attention particulière dans les pages de *Natures Sciences Sociétés*, la question de l'élargissement de la définition de la « citoyenneté scientifique » (Irwin, 1995) pour comprendre les modalités de coproduction des savoirs dans l'action y a également été abordée. Ainsi, l'enrôlement des non-chercheurs « dans des dispositifs de recherche afin de leur attribuer certaines tâches liées à leur expertise, à leur compétence, à leur pratique professionnelle ou, parfois, à l'image que l'on s'en fait » et les processus d'apprentissage mutuel entre acteurs (Hubert *et al.*, 2013) ont été explorés notamment dans le compte rendu du colloque sur le « *Living Knowledge* » paru dans cette même revue (Granjou, 2008). La question des rapports entre profanes et scientifiques dans les sciences de la nature est quant à elle abordée dans le compte rendu du colloque de 2005 sur les sciences citoyennes (Matagne, 2006), manifestation qui a d'ailleurs donné naissance à un ouvrage sur la participation amateur dans les sciences naturalistes (Charvolin *et al.*, 2007).

La participation de non-professionnels à la production des connaissances scientifiques n'est pas un phénomène nouveau, notamment dans les sciences de la nature (Miller-Rushing *et al.*, 2012) où la contribution

des amateurs est largement reconnue depuis le XIX<sup>e</sup> siècle (Secord, 1994), en particulier dans la collecte de spécimens (Charvolin *et al.*, 2007). Plus récemment, de telles initiatives ont vu le jour, par exemple en santé autour de la lutte contre le sida. L'informatique et la bioinformatique, pour ne citer que ceux-là, sont d'autres disciplines où la participation des non-professionnels s'est particulièrement accentuée ces dernières années. Cela dit, le domaine des sciences de la nature se distingue par le nombre relativement élevé d'initiatives sollicitant leur contribution à la production de connaissances.

Ce qui est nouveau, cependant, c'est la façon dont le développement des technologies de l'information et l'omniprésence des dispositifs et médias numériques changent l'échelle de la recherche, en faisant de l'engagement des amateurs et du grand public dans l'activité scientifique une stratégie de recherche viable (Buytaert *et al.*, 2014 ; Lievrouw, 2010 ; Nascimento *et al.*, 2014 ; Rotman *et al.*, 2012). Les projets récents, qui visent la création de très grandes bases de données naturalistes, de même que la multiplication de plateformes en ligne de sciences participatives, favorisent une nouvelle visibilité de la contribution des amateurs (Nielsen, 2012), tout en offrant de nouvelles possibilités de participation (Flichy, 2010 ; Lievrouw, 2010).

En est ressortie une sorte d'engouement pour les sciences participatives, dont les promesses sont multiples. Les bases de données et les dispositifs numériques ont été reconnus pour leur capacité à favoriser l'accès à des « biens communs » à l'échelle mondiale, à améliorer les connaissances et même à permettre une reconnexion avec le monde naturel (Ellis *et al.*, 2010). La production des connaissances scientifiques peut se trouver enrichie par des participants qui deviennent potentiellement plus compétents, reconnaissants et engagés dans l'activité scientifique. La formation de communautés virtuelles, l'inclusion d'éléments de ludification et le rôle accru de la cyberinfrastructure sont autant d'éléments évoqués comme faisant partie du futur des sciences citoyennes (Newman *et al.*, 2012). Enfin, l'élargissement permis par l'Internet contemporain offre de nouvelles opportunités d'observation des modes de production et de circulation des savoirs scientifiques qui associent des acteurs hétérogènes, au-delà du seul monde académique. Ainsi, il nous semble que l'objet « sciences participatives 2.0 » (ou « *citizen science 2.0* ») constitue une entrée privilégiée pour appréhender les rapports entre science, technologie et société en permettant l'examen d'une pratique à la frontière des mondes scientifique et non scientifique.

La vaste majorité des recherches sur le sujet sont des études de cas. Par conséquent, les efforts de théorisation sont à un stade précoce et les classifications restent souvent spécifiques aux contextes. Si l'on trouve un

certain nombre de revues de littératures ou de synthèses en anglais, nous n'en connaissons pas en français. Le fait que les notions elles-mêmes de science participative et de *citizen science* manquent de définitions claires et qu'elles sont constamment définies par la négative – en les comparant à ce qu'elles ne sont pas – peut témoigner d'une certaine immaturité.

Il nous paraît donc que le temps est mûr pour ce type de synthèse en français. L'objectif premier de cet article est de rassembler les concepts, leurs définitions respectives ainsi que les différentes perspectives mobilisées pour étudier la participation des non-professionnels dans les sciences de la nature. Nous visons à présenter un état de l'art, accompagné de nos réflexions sur le sujet. Pour réaliser cette revue de littérature, nous nous sommes principalement intéressées aux travaux liés à la biodiversité et aux études de conservation. Nous avons enrichi une base d'articles « classiques » sur le sujet avec les travaux les plus récents, à partir d'une recherche effectuée dans les principales revues dédiées aux études sociales de l'environnement, à la science et à la technologie ainsi que dans celles spécialisées en sciences de la nature ayant abordé le thème. La très grande majorité de la littérature recensée est en anglais et utilise l'expression science citoyenne (*citizen science*) plutôt que science participative. Nous privilégierons donc l'usage de ce terme dans les pages qui suivent, sauf quand les textes évoqués sont en français ou qu'ils utilisent explicitement l'expression science participative.

Pour débiter, nous présentons quelques définitions de la science citoyenne, ses principaux apports et une rapide discussion des différentes typologies disponibles dans la littérature. Nous abordons ensuite trois enjeux majeurs identifiés dans les travaux recensés : 1) les motivations des participants ; 2) l'expertise ; 3) la légitimité et la qualité des données. Nous tenterons de dégager une compréhension des sciences citoyennes de type Web 2.0.

Notre compréhension s'appuie également sur notre propre expérience. Ainsi, nous présentons quatre exemples tirés d'un corpus de travaux empiriques menés sur plusieurs années au sein de terrains de recherche dans les domaines de la botanique et de l'entomologie (voir les encadrés) – tous ces terrains se déroulant partiellement ou exclusivement en ligne. Ces cas variés illustrent les différents enjeux-clés de la science citoyenne 2.0. Les lecteurs pourront se référer à d'autres publications pour des analyses de cas détaillées. Brièvement, il s'agit de : 1) Tela Botanica, un site et une association qui remplissent de multiples fonctions allant de l'agrégation de données à l'organisation et l'animation d'activités de participation pour le grand public, en passant par la mise à disposition d'espaces de rassemblement pour des botanistes passionnés ; 2) Alerta Ambiental qui, dans la tradition du

*monitoring* environnemental, mise sur les connaissances locales pour dénoncer les activités illégales et nocives pour l'environnement, tout en cherchant à sensibiliser les médias et la société aux enjeux de la destruction environnementale et à ses conséquences humaines ; 3) eButterfly, un exemple classique de plateforme qui vise la production de données naturalistes, en l'occurrence sur les papillons, et qui s'insère dans des réseaux internationaux tels qu'iNaturalist ; 4) Les Herbonautes, un projet ludique d'herbier collaboratif porté par une institution, qui demande à des contributeurs anonymes de transcrire des informations pour compléter une base de données.

## La « science citoyenne » : une expression qui renvoie à de multiples réalités

Dès lors que des membres du public participent à la production de connaissances scientifiques, les projets se retrouvent classés sous la rubrique « science citoyenne » (du moins en anglais). Pour certains auteurs (Irwin, 1995 ; Piron *et al.*, 2009), la science citoyenne comprend des activités très variées, allant de la vulgarisation scientifique à la participation du public à des débats sociétaux (sur l'énergie nucléaire, les problèmes environnementaux ou encore les biotechnologies). Même si elle est considérée comme relevant de la production des connaissances, la science dite citoyenne reste très diversifiée. En effet, elle « recouvre différents degrés de pouvoir [...], différents types de relations avec les scientifiques professionnels et différents niveaux d'influence sur des projets scientifiques d'utilité politique au sein desquels les citoyens contribuent<sup>2</sup> » (Nascimento *et al.*, 2014, p. 5).

Malgré cette diversité, la plupart des projets de science citoyenne dépendent d'un nombre assez important de petites contributions plus ou moins indépendantes, et qui peuvent ainsi être traitées séparément et intégrées par la suite. Ce type de projet est l'équivalent scientifique du *crowdsourcing*, basé sur le fait que les « citoyens » travaillent activement, soit pour faire de la collecte et fournir de nouvelles données (surtout des observations), soit pour coder ou classer des données existantes (souvent des spécimens) (Lievrouw, 2010 ; Nielsen, 2012). Le projet eButterfly (Encadré 3) constitue un exemple classique de collecte de données réalisée dans cet esprit, alors que le projet Les Herbonautes (Encadré 4) réserve cette approche de *crowdsourcing* au traitement des informations.

<sup>2</sup> Cette citation ainsi que les suivantes dans le texte ont été traduites par nos soins.

Il reste que l'expression « science citoyenne » peut soulever des controverses (Suomela, 2014). Heaton *et al.* (2016) utilisent le terme « *participatory science* » pour décrire l'engagement de non-professionnels dans la recherche scientifique, que ce soit à travers la contribution de ressources, la collecte de données, l'interprétation des résultats ou, plus simplement, en alimentant les débats. Cette désignation est aussi celle privilégiée dans un rapport commandé par le ministre français de l'Écologie concernant les projets qui partagent « une forme de participation d'un public marquant un intérêt pour une participation active à une connaissance naturaliste » (Bœuf *et al.*, 2012, p. 5). Dans le récent rapport Houllier, les chercheurs soulignent la diversité qui caractérise le phénomène des sciences participatives et présentent une définition centrée sur la notion d'ouverture en parlant « [de] formes de production de connaissances scientifiques auxquelles des acteurs non-scientifiques-professionnels – qu'il s'agisse d'individus ou de groupes – participent de façon active et délibérée » (Houllier et Merilhou-Goudard, 2016, p. 6).

On constate par ailleurs une différence linguistique et culturelle dans l'utilisation des qualificatifs « citoyen » ou « participatif » dans les contextes français et anglosaxons. Par exemple, Bœuf *et al.* (2012) distinguent des projets de « sciences participatives » menés par des chercheurs et des projets de « sciences citoyennes » portés par le milieu associatif, même si les frontières entre les réalités décrites par ces termes ne sont pas complètement rigides.

## Quels apports de la science citoyenne ?

Le développement de recherches d'envergure est particulièrement important dans le domaine de la biodiversité et de la conservation, étant donné la nature et la complexité des enjeux. Tulloch *et al.*, (2013, pp. 129-30) pointent un ensemble d'avantages liés à l'utilisation de données récoltées par des bénévoles en matière de gestion, de sensibilisation (également d'influence sur les décideurs politiques), d'éducation (hausse du niveau de connaissances), de sérendipité (possibilité de découverte), de loisirs (établissement de liens sociaux), de recherche économique et sociale (sur le comportement humain), de connaissance de l'écologie et enfin, d'amélioration des méthodes scientifiques<sup>3</sup>. D'autres auteurs mettent l'accent sur la possibilité d'entretenir de meilleures relations entre bénévoles et scientifiques. Les impacts positifs sont liés à une meilleure conscience environnementale et à l'engagement qui en découle (Johnson *et al.*, 2014), en particulier dans les projets de conservation (Thiel *et al.*, 2014).

<sup>3</sup> Haywood (2014, p. 67) dresse une liste similaire d'avantages du point de vue des participants plutôt que des organisateurs de projets de science citoyenne.

Le rapport coût-efficacité des projets de science citoyenne est également cité comme un avantage notable compte tenu des ressources limitées dont disposent les initiatives en matière de conservation et de biodiversité (Miyazaki *et al.*, 2014). Cependant, le temps et les efforts nécessaires à la coordination et à la communication avec les participants peuvent être considérables, et les coûts associés au support technologique s'avèrent élevés à long terme (Gura, 2013 ; Tulloch *et al.*, 2013). Par ailleurs, certains peuvent voir dans ces initiatives une forme de *big science* visant à minimiser les coûts au détriment de la reconnaissance de ses contributeurs (Kinchy *et al.*, 2014).

## Quels « modèles » de science citoyenne ?

Les projets de science citoyenne peuvent être classés en fonction des rôles et de l'implication des citoyens, des échelles géographiques et temporelles, des impacts sur la science et la communauté, et selon qu'ils sont ou non à l'initiative de scientifiques professionnels (Nascimento *et al.*, 2014). Si la vaste majorité de ces projets sont gérés par des institutions, un certain nombre d'entre eux ont été lancés par des associations à but non lucratif comme Tela Botanica (Encadré 1). D'autres auteurs considèrent que les projets dans le domaine de la biodiversité en particulier peuvent suivre soit un modèle d'« exploration » lorsqu'ils sont définis et dirigés par un laboratoire de recherche, soit un modèle de « transformation » dans le cas où la société civile dirige le processus et sollicite l'aide des chercheurs pour la définition des protocoles de recherche et l'analyse des résultats (Couvét et Teyssède, 2013).

### Encadré 1. Tela Botanica.

Fondé en 1999, le réseau Tela Botanica regroupe, en 2017, 36 474 membres, amateurs et professionnels de la botanique. Tela Botanica repose sur la participation et la contribution volontaire de ses membres, via une plateforme Web. Les « telabotanistes » y produisent des connaissances, entretiennent des discussions sur les savoirs botaniques et initient des projets collaboratifs. La plateforme combine des forums de discussion, des espaces collaboratifs (wiki), des bases de données, des systèmes de cartographie, etc., le tout en libre accès, et offre un grand nombre de ressources : bulletins d'actualités, bibliographies, publications en ligne, index sur les taxons de la flore, clés d'identification numériques, etc. La libre circulation des savoirs botaniques et la production collaborative de nouvelles connaissances sont au cœur des activités de Tela Botanica. Avec le temps, l'association est devenue un acteur incontournable du monde de la botanique francophone. Elle est régulièrement sollicitée pour ses expertises en animation et structuration des activités pour des collectifs, dont l'herbier numérique collaboratif Les Herbonautes.

<http://www.tela-botanica.org>

À l'instar de celle proposée par Bœuf *et al.* (2012), on trouve plusieurs typologies classant les projets en fonction des rôles joués par les non-scientifiques ou des tâches qu'ils accomplissent, généralement selon un continuum (Buytaert *et al.*, 2014). Par exemple, Bonney *et al.* (2009) distinguent les projets selon le niveau d'implication et de contrôle exercé par les participants ; les projets sont soit « contributifs » (conçus uniquement par les scientifiques), « collaboratifs » (les participants jouent un rôle dans les étapes de conception, l'analyse et la diffusion) ou « co-crés » (avec une implication forte et continue des participants). Le modèle « cumulatif » d'Haklay (2013) distingue des projets de type (i) « *crowdsourcing* », où les citoyens ne sont que des « capteurs » ; (ii) « intelligence distribuée », où les citoyens mettent à disposition leurs capacités cognitives ; (iii) « science participative », où les citoyens participent à la définition du problème et à la collecte des données ; et enfin (iv) « science citoyenne extrême » exigeant un niveau d'engagement important, où le rôle des citoyens se rapproche de celui des scientifiques.

Si ces typologies laissent penser que tout projet de science citoyenne peut correspondre a priori à un type particulier, il est en réalité souvent très difficile de faire concorder les cas concrets aux contours abstraits des définitions proposées (Heaton *et al.*, 2016). L'exemple de Tela Botanica (Encadré 1), en tant que projet multifacettes visant à la fois la production de données, l'éducation et l'action, rassemblant scientifiques et non-scientifiques et sollicitant des initiatives provenant de tout participant, illustre bien cette difficulté. La littérature sur la science citoyenne fait toutefois apparaître plusieurs caractéristiques communes, qui dépassent la singularité des projets et des contextes, à savoir : les motivations des participants, l'expertise et les enjeux liés à la qualité des données.

## L'engagement et les motivations des participants

La littérature regorge de termes pour qualifier les participants aux projets de science citoyenne : non-professionnels, non-scientifiques, profanes, grand public, citoyens, bénévoles, amateurs, etc. Edwards (2014) souligne quelques différences importantes entre la notion de « bénévolat », qui renvoie à une action entreprise volontairement, celle de « citoyenneté », qui relève d'un sentiment d'appartenance et celle d'« amateurat », qui évoque un attachement d'ordre émotionnel. Cependant, les problèmes de chevauchement entre ces catégories surgissent rapidement. D'autre part, les labels citoyen, amateur et bénévole ne semblent pas rendre justice à la multiplicité des façons de participer. Ainsi, Haklay (2013) considère que tous les participants actifs sont des scientifiques, la seule différence avec les scientifiques

« professionnels » étant que ces derniers perçoivent un salaire. D'autres soulignent que les contributeurs ont au minimum une certaine conscience de la démarche scientifique (Cohn, 2008). Ces catégories sont d'autant plus fluides que les scientifiques « professionnels » sont souvent des bénévoles naturalistes en dehors de leurs heures de travail (Ellis et Waterton, 2004) et il arrive que les bénévoles deviennent membres du personnel salarié (Bell *et al.*, 2008).

Les « citoyens » de la science citoyenne sont généralement décrits comme des passionnés du domaine scientifique. Quelles que soient leurs motivations, elles évoluent tout au long de la participation et forment un ensemble complexe de facteurs internes et externes (Rotman *et al.*, 2012). L'envie d'apprendre, celle de découvrir ou d'enseigner apparaissent comme des facteurs importants de motivation (Alender, 2016). Dans les projets marqués par une préoccupation environnementale, l'amour de la nature ou le souci de l'environnement sont presque toujours à la base d'un dévouement qui permettra par la suite l'acquisition de connaissances (Bell *et al.*, 2008 ; Ellis et Waterton, 2004 ; Johnson *et al.*, 2014). L'échange de connaissances et l'apprentissage mutuel jouent d'ailleurs un rôle-clé quand il s'agit d'expliquer la pérennité de l'engagement des bénévoles, notamment grâce à des systèmes de « mentorat informel, où le plus expérimenté enseigne au moins expérimenté » (Bell *et al.*, 2008, p. 3450). Parfois, l'atteinte d'un haut niveau de spécialisation permet la construction d'une réputation éventuellement reconnue par les scientifiques (Thiel *et al.*, 2014), en particulier si l'activité est pratiquée comme un « loisir sérieux » (Stebbins, 1992<sup>4</sup>).

Clark et Illman (2001) distinguent les « citoyens scientifiques », qui prennent en main leur propre compréhension de la science, les « citoyens bénévoles » qui ne font que suivre les indications des scientifiques (la société Audubon, par exemple), et enfin les « citoyens militants » qui sont capables de tenir une conversation avec des experts et qui sont généralement fiers de leurs connaissances. À ce titre, la science citoyenne peut être vue « à l'interface de l'activisme politique et du bénévolat » (Buytaert *et al.*, 2014, p. 3), en permettant l'émergence d'une « citoyenneté environnementale » apte à influencer les politiques – même si cela reste difficile à évaluer en pratique (Ellis et Waterton, 2004). C'est le cas d'Alerta Ambiental (Encadré 2) qui dénonce les activités minières ou de déforestation illégales dans une région du Pérou, tout en cherchant à sensibiliser la

<sup>4</sup> Stebbins (1992, p. 3) définit le loisir sérieux comme une activité « suffisamment importante et intéressante pour que le participant y trouve une progression dans l'acquisition et l'expression de ses connaissances et compétences particulières ».

population à l'ampleur du problème à travers le pays. Par ailleurs, si, dans la plupart des cas, l'implication des participants a d'abord pour objectif de produire des données – comme dans le projet eButterfly (Encadré 3) –, la participation semble avoir un impact direct sur la sensibilisation du public en matière de protection de la nature (Thiel *et al.*, 2014).

#### Encadré 2. Alerta Ambiental.

Établie en 2009, cette organisation sans but lucratif spécialisée dans le *monitoring* environnemental de la région de Madre de Dios au Pérou encourage les citoyens à signaler des cas de violation de leurs droits, en particulier des activités minières ou de déforestation illégales. Une plateforme Web permet au public de consigner des informations détaillées sur des cas de violation et de constituer ainsi une base de données qui documente et rend visible ces problèmes majeurs. Un petit nombre de signalements deviendront des plaintes officielles devant les tribunaux (66 plaintes étaient en cours en février 2017). Le rayonnement et la diffusion des actions de l'organisation sont renforcés par une visibilité en ligne, grâce à une page Facebook suivie par 6 432 usagers. L'association offre un service de conseils juridiques et assure le suivi des plaintes de façon active, en cherchant à la fois à sensibiliser la population et les fonctionnaires, et à alerter les médias sur la destruction environnementale et ses conséquences humaines. La circulation de l'information scientifique y assure une fonction sociale plutôt que scientifique, visant surtout à sensibiliser la communauté.

<http://www.alertaambiental.pe>

Si contribuer à une cause constitue une des motivations principales dans les projets de science citoyenne de grande envergure, l'altruisme a également ses limites. Les participants recherchent en effet certaines formes de récompense sociale et personnelle, et un nombre croissant de projets intègrent des mécanismes de récompense, en particulier ceux qui exigent de grandes quantités de données. Cela inclut l'adaptation des plateformes afin de rendre les contributions plus visibles et plus faciles à rechercher, à partager et à visualiser (Hochachka *et al.*, 2012). À titre d'exemples, l'herbier collaboratif en ligne les Herbonautes (Encadré 4) et la plateforme eButterfly (Encadré 3) mettent en l'avant les «*top contributors*». Les Herbonautes intègrent par ailleurs des fonctionnalités de gain de badges (sortes de macarons) et de progression dans des niveaux de complexité, à la manière d'un jeu. Tela Botanica (Encadré 1) permet de créer des espaces personnels dans lesquels tout contributeur peut compiler ses listes, archiver ses photos et les partager. En outre, l'utilisation de fonctionnalités propres aux environnements de type

Web 2.0, par exemple celle de visualisation dynamique (cartes), constitue une forte incitation à la participation, en permettant un feed-back immédiat et personnalisé (Silvertown, 2009).

#### Encadré 3. eButterfly.

eButterfly est une plateforme de science participative portant sur l'écologie des différentes espèces de papillons que l'on trouve en Amérique du Nord. L'objectif de cette initiative est de consolider les informations recueillies par les entomologistes amateurs et d'en constituer une grande base de données (données d'observation et photographies). Près de 5 500 utilisateurs l'ont alimentée de plus de 57 500 observations depuis 2011. Le site offre des cartes de visualisation (*dynamic range maps*) et permet l'exploration des données sous forme de tableaux. Les photos y sont particulièrement mises en valeur.

<http://www.e-butterfly.org>

#### Encadré 4. Les Herbonautes.

L'herbier numérique collaboratif citoyen Les Herbonautes est une plateforme Web ludique, mise en place en 2013 par le Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Les contributeurs sont invités à repérer les éléments d'identification présents sur les images numérisées des planches d'herbier (nom de la plante et du collecteur, date et lieu de récolte, par exemple) et à les retranscrire dans les champs d'information d'une base de données en ligne. En 2017, plus de 2 700 contributeurs ont travaillé sur plus de 186 500 spécimens, totalisant environ 2 400 000 contributions. La justesse de l'identification des informations constitue l'enjeu principal de l'exercice. À ce titre, la plateforme intègre des stratégies de ludification (progression par niveaux, possibilité de gagner des badges) et prévoit des espaces de discussion pour régler les éventuels «*conflits*» d'interprétation qui surgissent lorsque les informations décrivant les spécimens ne concordent pas.

<http://lesherbonautes.mnhn.fr>

## L'expertise

Les diverses définitions de la science citoyenne renvoient à des perspectives différentes en termes de hiérarchisation des connaissances détenues par les scientifiques et les citoyens. Certaines visions s'apparentent au «*modèle du déficit*» de connaissances scientifiques qui conçoit la participation comme permettant au public d'en acquérir. D'autres conceptions postulent que les citoyens possèdent d'autres formes de connaissances, «*non scientifiques*» mais pertinentes,

qu'ils peuvent mettre au service de la science, notamment en biodiversité. Suomela (2014) fait valoir que le modèle du déficit ne tient pas, d'abord en raison de la large participation du public à la coproduction des connaissances et des politiques. Il souligne par ailleurs l'opportunité qu'offre l'étude des sciences citoyennes pour mieux comprendre ce qui distingue le « professionnel » de l'« expert », dans la mesure où il est possible d'être expert en dehors d'un domaine professionnel.

La vaste majorité des projets de science citoyenne place la science comme la source légitime des savoirs ; les participants doivent se conformer aux protocoles, aux normes et aux méthodes scientifiques. Les citoyens sont « enrôlés, recrutés, impliqués », et on insiste sur la simplicité du mode de contribution comme prérequis à la participation du plus grand nombre (Bonney *et al.*, 2009). Sauf quelques exceptions notables (Buytaert *et al.*, 2014 ; Heaton *et al.*, 2011), la littérature sur les sciences citoyennes ne problématise pas les différentes formes d'expertise démontrées dans ces contextes, se contentant généralement de classer les participants sur un continuum allant du grand public (sans expertise dans le domaine), à l'amateur (qui a quelques connaissances) jusqu'aux scientifiques ou professionnels (détenteurs de connaissances et d'expertises).

La littérature sur le *monitoring* environnemental exercé par les communautés locales fait plus de place aux connaissances acquises en dehors du cadre formel de l'enseignement (Rotman *et al.*, 2012 ; Thiel *et al.*, 2014), en mettant l'accent sur le « savoir écologique local » (*local ecological knowledge*) défini comme le savoir « gagné suite à une expérience et des observations de toute une vie » (Thiel *et al.*, 2014, p.259). Le projet Alerta Ambiental (Encadré 2) mise précisément sur ce type de savoir pour alimenter sa plateforme. De ce point de vue, les contributeurs participent à la science avec « une meilleure représentation des expériences et collectivités locales » (Buytaert *et al.*, 2014, p.2). Il reste que si la légitimité des expertises locales a été bien explorée dans des contextes physiques (Cornwell et Campbell, 2012 ; Wynne, 1992<sup>5</sup>), leur expression sur le Web change la visibilité et la portée d'activités de *monitoring* ou de collecte de données locales (Lievrouw, 2010).

<sup>5</sup> Les savoirs locaux ont souvent été abordés dans le contexte de contestations ou de contre-expertises. Par exemple, dans le domaine de la santé, Epstein (1996) a montré comment des « profanes » ont produit des connaissances pertinentes en dehors de la sphère scientifique proprement dite. Dans le cas des projets de science citoyenne que nous avons recensés, nous n'avons pas retrouvé ce type de contestation. De la même manière, notre corpus ne justifiait pas une discussion de la riche littérature sur les « savoirs indigènes ».

Collins et Evans (2002) proposent de penser l'expertise dans les termes d'une pluralité de registres de connaissances et d'acteurs. Ils plaident pour une reconsidération de la frontière entre l'expertise « formelle » et celle « dérivée du sens commun des gens ordinaires », au profit d'une vision privilégiant une perméabilité entre ces deux catégories. Pour Buytaert *et al.* (2014), la science citoyenne fournit des espaces au sein desquels différentes formes de savoirs interagissent et s'enrichissent mutuellement. Parmi les cas que nous avons étudiés, Tela Botanica (Encadré 1) et Les Herbonautes (Encadré 4) sont ceux qui offrent le plus clairement des espaces pour la discussion et la négociation. Ainsi, dans le projet Les Herbonautes, l'analyse des négociations entre les contributeurs au sujet des spécimens faisant l'objet d'interprétations différentes a permis d'identifier la coexistence de différentes formes d'expertise, l'une tirée d'une source d'autorité externe, l'une issue d'une coconstruction de connaissances résultant d'une discussion, et une autre basée sur l'affirmation d'une opinion d'expert imposant une interprétation.

## La légitimité et la qualité des données

Les questions de légitimité et de qualité des données produites au sein des projets de science citoyenne sont omniprésentes dans la littérature. Il faut dire que le potentiel d'utilisation des données, tant pour la recherche scientifique que pour la prise de décision politique, est directement lié à leur niveau de fiabilité (Jacobs, 2016). Le niveau de connaissances des contributeurs non professionnels étant *a priori* moindre, ceux-ci seraient moins aptes à observer et à consigner correctement les informations, autrement dit leurs apports seraient moins légitimes que ceux des « professionnels ». Or la littérature aborde cette question presque exclusivement en termes de qualité de données.

De nombreux articles discutent en effet de la façon d'assurer ou d'améliorer le niveau de qualité des données au sein des projets de science citoyenne<sup>6</sup>. La méthode de validation la plus courante semble être l'examen expert effectué par des professionnels ou des contributeurs expérimentés (Wiggins *et al.*, 2011). Dans les projets en ligne, les « *digital vouchers* », tels que l'ajout d'une photo de l'observation ou du spécimen, sont très utilisés (voir le cas d'eButterfly, Encadré 3). Dans d'autres contextes, la vérification peut se faire par une visite sur le site physique, comme c'est le cas pour Alerta Ambiental (Encadré 2). Des outils de validation automatisés, comme les filtres servant à repérer les anomalies ou

<sup>6</sup> Haywood (2014) souligne la prégnance de cet enjeu dans la littérature, en citant plusieurs études en exemple.

les contradictions, sont largement utilisés dans les projets d'envergure (Kelling *et al.*, 2011).

C'est d'ailleurs la stratégie adoptée par Les Herbonautes (Encadré 4), plateforme sur laquelle un « conflit » d'interprétation sur un même spécimen est automatiquement signalé lorsque les informations ne concordent pas. En outre, la classification des participants selon leurs niveaux d'habileté peut fournir des indices sur la fiabilité de leurs contributions, selon un principe de pondération différenciée (Kosmala *et al.*, 2016). On a observé que la précision des données tendait à diminuer avec l'accroissement du niveau de difficulté (Crall *et al.*, 2011). Aussi, l'allocation variable des tâches selon le niveau atteint par les différents contributeurs dans le jeu permet généralement d'améliorer la qualité des données tout en augmentant l'efficacité du projet (Kamar *et al.*, 2012 cité dans Kosmala *et al.*, 2016). Wiggins *et al.* (2011) proposent une liste complète de méthodes de validation de données, alors que Kosmala *et al.*, (2016) explorent une variété de moyens pour accroître leur qualité, notant que les projets les plus performants en mobilisent généralement plusieurs en parallèle.

La littérature fait état par ailleurs de l'importance du nombre de participants (Haklay, 2013) ; plus il est grand, plus il garantit la robustesse d'un jeu de données. De la même façon, des protocoles de collecte bien préparés (Cohn, 2008 ; Hochachka *et al.*, 2012 ; Newman *et al.*, 2012 ; Wiggins *et al.*, 2011) ainsi qu'une formation appropriée permettent de produire des données aussi fiables que celles produites par des collecteurs « professionnels » (Fore *et al.*, 2001). Enfin, selon Haklay (2013), les progrès sur le plan de l'instrumentation, ainsi que la motivation, le dévouement et l'attention au détail des bénévoles parviennent à compenser les lacunes dans leurs compétences.

Il est intéressant de constater que plus la participation à un projet se prolonge, moins la question de la qualité semble se poser, d'où la préoccupation des responsables/ porteurs de projets de science citoyenne de fidéliser les participants. Thiel *et al.* (2014, p.258) notent que la constance de l'engagement « est facilitée quand les bénévoles sentent que leurs efforts aboutissent à quelque chose de pratique, comme des publications, des initiatives de conservation, des décisions de gestion ou des actions politiques ». Ainsi, obtenir de la reconnaissance constitue non seulement une motivation importante, mais favorise également la qualité des données. Par ailleurs, la façon dont se manifeste cette reconnaissance est importante, car l'encouragement à la compétition fondée sur le volume de contributions peut éloigner les participants du souci de qualité (Crowston et Prestopnik, 2013). Dans les projets à grande échelle, il importe de trouver le juste équilibre entre le volume souhaité de données à produire et le niveau de qualité à atteindre (Hochachka *et al.*, 2012).

## Conclusion

Cette revue de littérature des projets de science citoyenne dans le domaine des sciences de la nature révèle des changements émergents dans les relations et les formes de division du travail entre citoyens et scientifiques. Les innovations technologiques récentes (outils numériques, bases de données, plateformes) ont étendu la portée et la diversité des initiatives impliquant des citoyens dans la production et le traitement des données scientifiques. La « science citoyenne 2.0 » offre ainsi un terrain particulièrement propice à l'examen des pratiques à la frontière des mondes scientifiques et non scientifiques.

La participation des citoyens a toujours constitué une partie importante de la production des savoirs dans les sciences de la nature. Dans un contexte où la collecte de données sur de vastes espaces géographiques et de longues périodes de temps est essentielle, la participation citoyenne s'est avérée une ressource non négligeable en matière de force de travail et de compétences. Historiquement, l'accès au terrain était à la portée de tous et n'exigeait que peu d'outils ou d'expertises préalables (sauf peut-être le respect d'un protocole de collecte des données). Désormais, la simplicité d'utilisation des outils de collaboration de type Web 2.0 ouvre de nouvelles possibilités de participation (Flichy, 2010 ; Lievrouw, 2010). Ces dispositifs facilitent la mobilisation et la coordination du « grand nombre » et, ce faisant, contribuent à favoriser le développement de projets impliquant le public.

Hine (2008) a montré comment les sciences systématiques, basées sur la taxonomie et les collections, se sont transformées en une nouvelle « cyber science » grâce à l'informatique et aux technologies numériques, notamment Internet. Mais elle a noté aussi que l'utilisation des moyens numériques renouvelait les pratiques plutôt qu'elle ne les transformait radicalement. À titre d'exemple, les grandes bases de données constituées grâce à l'agrégation de données tirées de multiples plateformes (comme la Global Biodiversity Information Facility [GBIF]) prennent appui sur une longue tradition de collection et de documentation de spécimens. La science citoyenne « en ligne » donne ainsi à voir une nouvelle articulation de la contribution d'acteurs hétérogènes en termes de motivations et d'expertises (scientifiques, non-scientifiques, amateurs, citoyens engagés), et, surtout, leur intégration à une échelle jusque-là impossible à atteindre. Certes, les formes plus traditionnelles de participation des non-scientifiques à la science, telles que le *monitoring* ou les sorties de terrain, continuent d'exister, mais elles sont dorénavant complétées par de nouvelles manières de participer.

Ce changement d'échelle, couplé à l'inclusion de participants relativement anonymes, au-delà du seul



monde académique, pose plusieurs défis aux projets de science citoyenne de type Web 2.0 : comment comprendre les motivations variables des participants afin de maximiser la contribution de chacun et de chacune ? Comment négocier plusieurs registres d'expertise au sein d'une même plateforme ? Et comment garantir la qualité et la fiabilité des données ?

Ces mêmes dispositifs numériques présentent des particularités qui font leur force en termes de production scientifique. Premièrement, la capacité d'agrégation de données (et de génération de métadonnées sur le processus de production) constitue l'atout principal des plateformes qui mobilisent un large bassin de participants. Deuxièmement, dès lors qu'ils sont assortis d'outils facilitant et automatisant la mise en commun et la coordination des contributions (tels que des méthodes semi-automatisés pour la validation et le contrôle de qualité, le classement automatique ou la répartition des tâches en fonction des niveaux d'expertise), les dispositifs numériques mis en œuvre par les projets de science citoyenne jouent un rôle primordial pour structurer la production et la circulation des connaissances. Ces caractéristiques semblent ainsi favoriser la constitution de savoirs scientifiques légitimes par les non-scientifiques.

Troisièmement, l'utilisation du web par les projets de science citoyenne permet une restitution et une mise en visibilité des contributions d'une manière radicalement nouvelle. Par exemple, la possibilité pour un participant de déposer et de classer les photos de ses observations rend cette activité concrète tout en y apportant une dimension esthétique. Un autre aspect encore plus important est que la plupart des plateformes de science citoyenne ont une fonction de cartographie interactive qui permet soit de localiser les contributions individuelles, soit de faire des recherches et de visualiser les données (Haklay, 2013 ; Mericskay et Roche, 2011). Sur ce plan, le *volunteered geographical information* (VGI) est porteur « de nombreux enjeux tant scientifiques que sociétaux, dans la mesure où les technologies du géoweb et les représentations dont elles sont porteuses façonnent notre manière de vivre et de penser l'espace » (Mericskay et Roche, 2011, paragraphe 2).

Pour conclure, si les expressions « science participative » et « science citoyenne » recouvrent des réalités disparates et si leurs définitions demeurent relativement floues, les termes utilisés pour qualifier les participants à ces initiatives en disent long sur les visions qu'ils soutiennent, en particulier sur le rapport à la science et aux connaissances scientifiques. Il est important de prendre acte de ce répertoire et d'identifier le sens attribué à ces différents choix sémantiques. La persistance des dénominations par la négative (non-scientifiques, non-professionnels) est révélatrice de la difficulté à envisager

ces rôles hybrides qui transgressent les différents mondes de la science, mais qui font désormais partie des modèles de production des connaissances scientifiques à l'ère numérique.

## Remerciements

Nous remercions nos collègues et nos assistants de recherche ainsi que le Conseil de recherches en sciences humaines (CRSH) du Canada.

## Références

- Alender B., 2016. Understanding volunteer motivations to participate in citizen science projects: a deeper look at water quality monitoring, *JCOM - Journal of Science Communication*, 15, 3, 1-19, [https://jcom.sissa.it/archive/15/03/JCOM\\_1503\\_2016\\_A04](https://jcom.sissa.it/archive/15/03/JCOM_1503_2016_A04).
- Bell S., Marzano M., Cent J., Kobierska H., Podjed D., Vandzinskaite D., Muršič R., 2008. What counts? Volunteers and their organisations in the recording and monitoring of biodiversity, *Biodiversity and Conservation*, 17, 14, 3443-3454, doi: [10.1007/s10531-008-9357-9](https://doi.org/10.1007/s10531-008-9357-9).
- 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), <http://www.birds.cornell.edu/citscitoolkit/publications/CAISE-PPSR-report-2009.pdf>.
- Bœuf G., Allain Y.-M., Bouvier M., 2012. *L'apport des sciences participatives dans la connaissance de la biodiversité en France*. Rapport, Paris, ministère de l'Écologie, <http://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Temis/0081/Temis-0081293/21789.pdf>.
- Buytaert W., Zulkafli Z., Grainger S., Acosta L., Alemie T.C., Bastiaensen J., De Bièvre B., Bhusal J., Clark J., Dewulf A., Foggini M., Hannah D.M., Hergarten C., Isaeva A., Karpouzoglou T., Pandeya B., Paudel D., Sharma K., Steenhuis T., Tilahun S., Van Hecken G., Zhumanova M., 2014. Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development, *Frontiers in Earth Science*, 2, 26, 1-21, doi: [10.3389/feart.2014.00026](https://doi.org/10.3389/feart.2014.00026).
- Charvolin F., Micoud A., Nyhart L.K. (Eds.), 2007. *Des sciences citoyennes ? La question de l'amateur dans les sciences naturalistes*, La Tour-d'Aigues, Éditions de l'Aube.
- Clark F., Illman D.L., 2001. Dimensions of civic science. Introductory essay, *Science Communication*, 23, 1, 5-27, doi: [10.1177/1075547001023001002](https://doi.org/10.1177/1075547001023001002).
- Cohn J.P., 2008. Citizen science: can volunteers do real research?, *BioScience*, 58, 3, 192-197, doi: [10.1641/B580303](https://doi.org/10.1641/B580303).

- Collins H.M., Evans R., 2002. The third wave of science studies. Studies of expertise and experience, *Social Studies of Science*, 32, 2, 235-296, doi: [10.1177/0306312702032002003](https://doi.org/10.1177/0306312702032002003).
- Cornwell M.L., Campbell L.M., 2012. Co-producing conservation and knowledge: citizen-based sea turtle monitoring in North Carolina, USA. *Social Studies of Science*, 42, 1, 101-120.
- Couvet D., Teyssède A., 2013. Sciences participatives et biodiversité : de l'exploration à la transformation des socio-écosystèmes, *Cahiers des Amériques latines*, 72-73, 49-64, doi: [10.4000/cal.2792](https://doi.org/10.4000/cal.2792).
- Crall A.W., Newman G.J., Stohlgren T.J., Holfelder K.A., Graham J., Waller D.M., 2011. Assessing citizen science data quality: an invasive species case study, *Conservation Letters*, 4, 6, 433-442, doi: [10.1111/j.1755-263X.2011.00196.x](https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2011.00196.x).
- Crowston K., Prestopnik N.R., 2013. Motivation and data quality in a citizen science game: a design science evaluation, in *Proceedings of the 46th Hawaii International Conference on System Sciences, 7th-10th January, Hawaii*, IEEE, 450-459, doi: [10.1109/HICSS.2013.413](https://doi.org/10.1109/HICSS.2013.413).
- Dias da Silva P., Heaton L., 2015. *Citizens, amateurs, volunteers: conceptual struggles in studies of citizen science*. Note de recherche 2015-01, Montréal, Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie (CIRST).
- Edwards R., 2014. Citizen science and lifelong learning, *Studies in the Education of Adults*, 46, 2, 132-144.
- Ellis R., Waterton C., 2004. Environmental citizenship in the making: the participation of volunteer naturalists in UK biological recording and biodiversity policy, *Science and Public Policy*, 31, 2, 95-105, doi: [10.3152/147154304781780055](https://doi.org/10.3152/147154304781780055).
- Ellis R., Waterton C., Wynne B., 2010. Taxonomy, biodiversity and their publics in twenty-first-century DNA barcoding, *Public Understanding of Science*, 19, 4, 497-512, doi: [10.1177/0963662509335413](https://doi.org/10.1177/0963662509335413).
- Epstein S., 1996. *Impure science: AIDS, activism, and the politics of knowledge*, Berkeley, University of California Press.
- Flichy P., 2010. *Le sacre de l'amateur. Sociologie des passions ordinaires à l'ère numérique*, Paris, Seuil.
- Fore L.S., Paulsen K., O'Laughlin K., 2001. Assessing the performance of volunteers in monitoring streams, *Freshwater Biology*, 46, 1, 109-123, doi: [10.1111/j.1365-2427.2001.00640.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2001.00640.x).
- Granjou C., 2008. Quand chercheurs et citoyens coproduisent les savoirs et les décisions scientifiques et techniques (3<sup>e</sup> conférence internationale "Living Knowledge"). Compte rendu de colloque (Paris, 30 août-1er septembre 2007), *Natures Sciences Sociétés*, 16, 4, 385-386, doi: [10.1051/nss/2008073](https://doi.org/10.1051/nss/2008073).
- Gura T., 2013. Citizen science: amateur experts, *Nature*, 496, 7444, 259-261, <https://www.nature.com/naturejobs/science/articles/10.1038/nj7444-259a>.
- Haklay M., 2013. Citizen science and volunteered geographic information: overview and typology of participation, in Sui D., Elwood S., Goodchild M. (Eds), *Crowdsourcing geographic knowledge*, Dordrecht, Springer, 105-122, doi: [10.1007/978-94-007-4587-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_7).
- Haywood B.K., 2014. A "Sense of place" in public participation in scientific research, *Science Education*, 98, 1, 64-83, doi: [10.1002/sce.21087](https://doi.org/10.1002/sce.21087).
- Heaton L., Millerand F., Crespel É., Proulx S., 2011. La réactualisation de la contribution des amateurs à la botanique, *Terrains & Travaux*, 18, 1, 155-173, <https://www.cairn.info/revue-terrains-et-travaux-2011-1-page-155.htm>.
- Heaton L., Millerand F., Liu X., Crespel É., 2016. Participatory science: encouraging public engagement in ONEM, *International Journal of Science Education, Part B*, 6, 1, 1-22, doi: [10.1080/21548455.2014.942241](https://doi.org/10.1080/21548455.2014.942241).
- Hine C., 2008. *Systematics as cyberscience: computers, change, and continuity in science*, Cambridge (Mass.), The MIT Press.
- Hochachka W.M., Fink D., Hutchinson R.A., Sheldon D., Wong W.-K., Kelling S., 2012. Data-intensive science applied to broad-scale citizen science, *Trends in Ecology & Evolution*, 27, 2, 130-137, doi: [10.1016/j.tree.2011.11.006](https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.11.006).
- Houllier F., Merilhou-Goudard J.-B., 2016. *Les sciences participatives en France. État des lieux, bonnes pratiques et recommandations*. Rapport, Paris, ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, doi: [10.15454/1.4606201248693647E12](https://doi.org/10.15454/1.4606201248693647E12).
- Hubert B., Aubertin C., Billaud J.-P., 2013. Recherches participatives, recherches citoyennes.. une clarification nécessaire, *Natures Sciences Sociétés*, 21, 1, 1-2, doi: [10.1051/nss/2013078](https://doi.org/10.1051/nss/2013078).
- Irwin A., 1995. *Citizen science: a study of people, expertise, and sustainable development*, Londres, Routledge.
- Jacobs C., 2016. Data quality in crowdsourcing for biodiversity research: issues and examples, in Capineri C., Haklay M., Huang H., Antoniou V., Kettunen J., Ostermann F., Purves R. (Eds), *European handbook of crowdsourced geographic information*, London, Ubiquity Press, 75-86, doi: [10.5334/bax.f](https://doi.org/10.5334/bax.f).
- Johnson M.F., Hannah C., Acton L., Popovici R., Karanth K. K., Weinthal E., 2014. Network environmentalism: citizen scientists as agents for environmental advocacy, *Global Environmental Change*, 29, 235-245, doi: [10.1016/j.gloenvcha.2014.10.006](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.10.006).
- Kamar E., Hacker S., Horvitz E., 2012. Combining human and machine intelligence in large-scale crowdsourcing, in *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, Volume 1, June 04-08, Valencia*, International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 467-474.
- Kelling S., Yu J., Gerbracht J., Wong W.-K., 2011. Emergent filters: automated data verification in a large-scale citizen science project, in *2011 IEEE Seventh International Conference on e-Science. Workshop proceedings, 5th-8th December, Stockholm*, IEEE, 20-27, doi: [10.1109/eScienceW.2011.13](https://doi.org/10.1109/eScienceW.2011.13).
- Kinchy A., Jalbert K., Lyons J., 2014. What is volunteer water monitoring good for? Fracking and the plural logics of

- participatory science, in Frickel S., Hess D.J. (Eds), *Fields of knowledge: science, politics and publics in the neoliberal age*, Bingley, Emerald Group Publishing Limited, 259-289, doi: [10.1108/S0198-871920140000027017](https://doi.org/10.1108/S0198-871920140000027017).
- Kosmala M., Wiggins A., Swanson A., Simmons B., 2016. Assessing data quality in citizen science, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14, 10, 551-560.
- Lievrouw L.A., 2010. Social media and the production of knowledge: a return to little science?, *Social Epistemology*, 24, 3, 219-237, doi: [10.1080/02691728.2010.499177](https://doi.org/10.1080/02691728.2010.499177).
- Matagne P., 2006. Les sciences citoyennes. Vigilance collective et rapport entre profane et scientifique dans les sciences naturalistes. Compte rendu de colloque (Saint-Étienne, 13-14 janvier 2005), *Natures Sciences Sociétés*, 14, 4, 425-427, doi: [10.1051/nss:2007012](https://doi.org/10.1051/nss:2007012).
- Mericskay B., Roche S., 2011. Cartographie 2.0: le grand public, producteur de contenus et de savoirs géographiques avec le web 2.0, *Cybergeo: European Journal of Geography*, doi: [10.4000/cybergeo.24710](https://doi.org/10.4000/cybergeo.24710).
- 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, doi: [10.1890/110278](https://doi.org/10.1890/110278).
- Miyazaki Y., Murase A., Shiina M., Naoe K., Nakashiro R., Honda J., Senou H., 2014. Biological monitoring by citizens using web-based photographic databases of fishes, *Biodiversity and Conservation*, 23, 9, 2383-2391, doi: [10.1007/s10531-014-0724-4](https://doi.org/10.1007/s10531-014-0724-4).
- Nascimento S., Pereira Â., Ghezzi A., 2014. *From citizen science to do it yourself science. An annotated account of an on-going movement*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC93942>.
- 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, doi: [10.1890/110294](https://doi.org/10.1890/110294).
- Nielsen M., 2012. *Reinventing discovery: the new era of networked science*, Princeton (NJ), Princeton University Press.
- Piron F., Duranceau M.-F., Pion L. (Eds), 2009. *Aux sciences, citoyens ! Expériences et méthodes de consultation sur les enjeux scientifiques de notre temps*, Montréal, Presses de l'Université de Montréal.
- Rotman D., Preece J., Hammock J., Procita K., Hansen D., Parr C., Lewis D., Jacobs D., 2012. Dynamic changes in motivation in collaborative citizen-science projects, in *Proceedings of the ACM 2012 conference on Computer Supported Cooperative Work, February 11-15, Seattle, New York, ACM*, 217-226, doi: [10.1145/2145204.2145238](https://doi.org/10.1145/2145204.2145238).
- Roy H.E., Pocock M.J.O., Preston C.D., Roy D.B., Savage J., Tweddle J.C., Robinson L.D., 2012. *Understanding citizen science and environmental monitoring*. Final Report on behalf of UK Environmental Observation Framework, NERC Centre for Ecology & Hydrology and Natural History Museum.
- Secord A., 1994. Science in the pub: artisan botanists in early nineteenth-century Lancashire, *History of Science*, 32, 3, 269-315, doi: [10.1177/007327539403200302](https://doi.org/10.1177/007327539403200302).
- Serrano Sanz F., Holocher-Ertl T., Kieslinger B., Sanz García F., Silva C.G., 2014. *White paper on citizen science for Europe*, Bruxelles, Commission européenne.
- Silvertown J., 2009. A new dawn for citizen science, *Trends in Ecology & Evolution*, 24, 9, 467-471, doi: [10.1016/j.tree.2009.03.017](https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.017).
- Socientize consortium, 2013. *Green paper on citizen science. Citizen science for Europe: towards a better society of empowered citizens and enhanced research*, Bruxelles, Commission européenne.
- Stebbins R.A., 1992. *Amateurs, professionals, and serious leisure*, Montreal, McGill-Queen's University Press.
- Suomela T., 2014. *Citizen science: framing the public, information exchange, and communication in crowdsourced science*. Thèse de doctorat, University of Tennessee, [http://trace.tennessee.edu/utk\\_graddiss/2864](http://trace.tennessee.edu/utk_graddiss/2864).
- Thiel M., Penna-Díaz M.A., Luna-Jorquera G., Sala S., Sellanes J., Stotz W., 2014. Citizen scientists and marine research: volunteer participants, their contributions, and projection for the future, in Hugues R.N., Hugues D.J., Smith I.P. (Eds), *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review*, 52, Boca Raton, CRC Press, 257-314.
- Tulloch A.I.T., Possingham H.P., Joseph L.N., Szabo J., Martin T.G., 2013. Realising the full potential of citizen science monitoring programs, *Biological Conservation*, 165, 128-138, doi: [10.1016/j.biocon.2013.05.025](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.05.025).
- Wiggins A., Newman G., Stevenson R.D., Crowston K., 2011. Mechanisms for data quality and validation in citizen science, in *2011 IEEE Seventh International Conference on e-Science. Workshop proceedings, 5th-8th December, Stockholm, IEEE*, 14-19, doi: [10.1109/eScienceW.2011.27](https://doi.org/10.1109/eScienceW.2011.27).
- Wynne B. 1992. Misunderstood misunderstanding: social identities and public uptake of science, *Public Understanding of Science*, 1, 3, 281-304.

**Citation de l'article** : Dias da Silva P., Heaton L., Millerand F., 2017. Une revue de littérature sur la « science citoyenne » : la production de connaissances naturalistes à l'ère numérique. *Nat. Sci. Soc.* 25, 4, 370-380.