

ÉTAT DES LIEUX DE LA SCIENCE PARTICIPATIVE SUR LES ALGUES ET PROPOSITION DE VOIES
D'UTILISATION ET DE VALORISATION DES DONNÉES INTRANTES

Par
Laura Lagourgue

Essai présenté au Centre universitaire de formation
en environnement et de développement durable de
L'UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sous la direction de Madame Line Le Gall

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
Double diplôme avec l'Université Montpellier
Master en Gestion intégrée de l'Environnement de la Biodiversité et des Territoires (GIEBioTe)

Juin 2015

SOMMAIRE

Mots-clés : algue, science participative, diversité spécifique, diversité fonctionnelle, valorisation scientifique, implication citoyenne

Les algues sont extrêmement difficiles, voire impossibles, à identifier sur la base de caractères morphologiques ce qui compromet leur étude dans le cadre de la science participative. L'objectif de cet essai est de proposer des pistes pour surmonter ce verrou afin d'acquérir et de valoriser des données citoyennes sur les algues dans des domaines d'étude de la diversité spécifique et fonctionnelle.

À cette fin, un état des lieux des programmes de science participative est réalisé. Il considère à la fois les programmes portant sur les algues, aux échelles nationale (française) et internationale, les programmes visant le milieu marin et pouvant intégrer la collecte de données sur les algues, ainsi que des programmes s'inscrivant dans d'autres domaines, mais dont le concept pourrait être transféré ou adapté à la phycologie. Par ailleurs, des outils et réseaux pouvant soutenir la collecte et l'exploitation des données sur les algues sont également recensés. Une première série de recommandations est émise à partir des leviers et freins mis en évidence. Ensuite, différentes voies potentielles pour la valorisation et l'utilisation des données sur les algues, inspirées de la base de données réalisée, sont proposées et décrites. Une évaluation multicritères permet de discriminer leurs perspectives d'application et d'identifier les projets à prioriser. Enfin, les cinq voies sélectionnées à l'issue de l'analyse sont décrites en terme de modalités de mises en œuvre, et des recommandations générales finalisent l'essai.

Les principales conclusions de cette évaluation explicitent qu'il est, dans l'immédiat, préférable d'opter pour des voies d'utilisation et de valorisation des données existantes sur les algues en créant, entre autres, des relais français de programmes de science participative internationaux fonctionnels et populaires. Néanmoins, des voies innovantes avec une application inédite sur les algues ont également été proposées et restent très pertinentes, malgré un classement en « non prioritaires » à l'issue de l'analyse multicritères, du fait des moyens matériels, humains, temporels et/ou financiers nécessaires. Ainsi, les voies proposées concernent l'exploitation des photographies, mais également des intrants de données alternatives, ce qui permet une diversification dans la collecte pour les participants. De nombreuses pistes sont donc envisageables pour surmonter la difficulté d'identification des espèces d'algues et promouvoir l'exploitation des données de science participative dans différents domaines de la recherche sur les algues. Cependant, la communication auprès de la société est primordiale en amont afin d'informer et de sensibiliser le public sur les algues et rendre cet objet d'étude attrayant pour solliciter une participation citoyenne propice à de telles initiatives.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier ma directrice d'essai, Line Le Gall, pour m'avoir guidée tout au long de la rédaction de l'essai, que ce soit depuis la création de la problématique jusqu'à la finalisation. Elle a toujours été très attentive à mon travail, et su, par ces questions ou commentaires, soulever et approfondir ma réflexion et ma rigueur. J'admire son ouverture d'esprit sur les questions sociales tout comme son implication et sa connaissance dans le domaine scientifique. C'est grâce à des personnes passionnées et généreuses comme elle que j'ai pu trouver et confirmer ma voie et mes aspirations professionnelles et je leur en suis très reconnaissante!

Je la remercie également d'avoir fait preuve de patience, et de m'avoir toujours soutenue et encouragée malgré le contexte difficile dans lequel cet essai a été rédigé.

Je remercie également les professionnels qui ont répondu à mes questions, que ce soient les responsables de différents programmes de science participative comme les experts et concepteurs de projets, et qui m'ont ainsi aidée à mieux comprendre et approfondir certains aspects de cet essai.

Je tiens à remercier toutes les personnes, québécoises et françaises, qui ont fait partie de ces deux années de maîtrise, et sans qui l'expérience n'aurait pas été si belle.

Enfin, et de manière plus personnelle, je remercie les personnes qui m'entourent, famille et amis, qui, sans toujours comprendre ce que je faisais, étaient là pour me soutenir, m'encourager ou me remettre en question, chacune à sa manière.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	5
1.1 La science participative	5
1.1.1 Présentation du concept, historique et objectifs.....	5
1.1.2 Communautés impliquées dans la science participative et enjeux associés.....	7
1.1.3 Diversité des sciences participatives.....	10
1.1.4 La science participative à l'échelle internationale	13
1.1.5 La science participative en France	14
1.1.6 Limites de la science participative.....	15
1.2 Qu'étudient les sciences participatives ?	17
2. DÉCLINAISON DANS LES AXES D'ÉTUDES CONCERNÉS EN PHYCOLOGIE ET AUTRES PERSPECTIVES.....	19
2.1 La phycologie	19
2.2 La recherche sur les algues : diversité intra et interspécifique et diversité fonctionnelle.....	23
2.3 Quels intérêts et perspectives d'intégration des données de science participative?.....	27
3. RECENSEMENT ET ÉTAT DES LIEUX DE LA SCIENCE PARTICIPATIVE SUR LES ALGUES	29
3.1 Objectifs et méthodologie de prospection.....	29
3.2 Analyse comparative des programmes d'intérêts	30
3.2.1 Présentation.....	30
3.2.2 Résumé	39
3.3 Bilan mettant en exergue les leviers et freins dans les démarches de science participatives	41
3.3.1 Leviers mis en évidence par les points forts des programmes de science participative.....	41
3.3.2 Freins mis en évidence par les points faibles des programmes de science participative	43
3.4 Explicitation des enjeux.....	44
3.4.1 Enjeux globaux	44

3.4.2	Création d'un projet de science participative : Ciblage des acteurs et du public potentiel	46
3.4.3	Sélection de la stratégie, du protocole et du type de données à collecter	46
3.4.4	Utilisation et valorisation des données	48
4.	PROPOSITION DE VOIES DE VALORISATION POTENTIELLES POUR LES DONNÉES SUR LES ALGUES	49
4.1	Présentation des voies potentielles	49
4.1.1	Ciblage des espèces emblématiques et invasives facilement identifiables.....	50
4.1.2	Logiciel d'identification automatique des espèces photographiées	52
4.1.3	Identification par clé de détermination interactive	55
4.1.4	Identification des algues au niveau générique	57
4.1.5	Paysages, strates et biocénoses algales	58
4.1.6	Extraction de traits fonctionnels	61
4.1.7	Identification des communautés sur images satellites	63
4.1.8	Collecte d'échantillons, phylogénie et <i>barcoding</i>	65
4.2.	Composantes considérées	67
4.3.	Résumé des voies de valorisation identifiées	68
5.	ÉVALUATION DES PROPOSITIONS	72
5.1	Présentation de l'analyse multicritères et objectifs	72
5.2	Sélection des critères de discrimination.....	73
5.2.1	Pertinence stratégique	73
5.2.2	Faisabilité technique	74
5.2.3	Faisabilité organisationnelle	75
5.3	Méthodologie de notation.....	75
5.3.1	Notation.....	75
5.3.2	Pondération	76
5.3.3	Interprétation de la valeur finale	77
5.4	Résultats de l'analyse multicritères et discussion.....	77

6. PISTES D'ORIENTATIONS À PRIORISER	81
6.1 Discussion sur les pistes sélectionnées et à prioriser.....	81
6.2 Synthèse	83
7. RECOMMANDATIONS	85
7.1 Recommandations pour les pistes d'orientation	85
7.2 Recommandations générales	87
CONCLUSION	90
RÉFÉRENCES	92
ANNEXE 1 - BASE DE DONNÉES DES PROGRAMMES, RÉSEAUX ET OUTILS DE SCIENCE PARTICIPATIVE RECENSÉS	106
ANNEXE 2 - CIBLAGE D'ESPÈCES EMBLÉMATIQUES ET EXOGÈNES FACILEMENT IDENTIFIABLES AU NIVEAU SPÉCIFIQUE.....	107
ANNEXE 3 - IDENTIFICATION AUTOMATIQUE D'ALGUES SUR PHOTOGRAPHIES.....	111
ANNEXE 4 - CLÉ DE DÉTERMINATION INTERACTIVE	120
ANNEXE 5 - IDENTIFICATION TAXONOMIQUE AU NIVEAU DU GENRE	124
ANNEXE 6 - PAYSAGES, STRATES ET BIOCÉNOSES ALGALES	127
ANNEXE 7 - TRAITS FONCTIONNELS.....	133
ANNEXE 8 - IDENTIFICATION DES COMMUNAUTÉS SUR IMAGES SATELLITES.....	137
ANNEXE 9 - COLLECTE D'ÉCHANTILLONS, PHYLOGÉNIE ET <i>BARCODING</i>	143

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 2.1 : Aperçu schématique de la phylogénie des Eucaryotes	20
Figure.2.2 : Diversité morphologique des algues, quelques exemples.....	21
Figure 2.3 : Schéma de l'approche fonctionnelle hiérarchique	26
Figure 4.1 : Fiche d'aide à l'identification des algues brunes du programme BioLit	51
Figure 4.2 : Vue d'un exemple de résultats sur l'interface Plant@Net-IDENTIFY	54
Figure 4.3 : Exemple d'étagement d'habitats et biocénoses associées sur le littoral breton	59
Figure 4.4 : Exemples d'images satellites et applications	64
Tableau 1.1 : Typologies des concepts de science participative	11
Tableau 1.2 : Typologies des programmes de science participative	12
Tableau 3.1 : Récapitulatif des programmes de SC français sur les algues.....	32
Tableau 3.2 : Récapitulatif des programmes de SC internationaux sur les algues.....	34
Tableau 3.3 : Récapitulatif des programmes de SC marins pouvant intégrer un volet sur les algues.....	35
Tableau 3.4 : Récapitulatif des programmes de SC portant sur d'autres domaines d'intérêts.....	36
Tableau 3.5 : Récapitulatif des réseaux et outils à disposition.....	37
Tableau 4.1 : Synthèse des voies d'utilisation et de valorisation des données de SC proposées	69
Tableau 5.1 : Échelle de notation appliquée à la grille d'analyse multicritères	76
Tableau 5.2 : Grille d'analyse multicritères des voies proposées.....	78
Tableau 6.1 : Synthèse des caractéristiques relatives aux voies de valorisation à prioriser.....	84

LISTES DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

AAMP	Agence pour les Aires marines protégées
ADN	Acide désoxyribonucléique
AMP	Aire marine protégée
BioLit*	Biodiversité du Littoral
BioObs*	Base pour l'Inventaire des Observations subaquatiques
CaPoeRa*	Capsule d'Œuf de Raie
CDB	<i>Convention sur la Diversité biologique</i>
CPIE	Centre permanent d'Initiatives pour l'Environnement
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CoReMo	<i>Coral Reef Monitoring</i>
DORIS*	Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la Faune et de la Flore subaquatiques
ECSA	Association européenne pour les Sciences participatives
EMODNet	<i>European marine Data and Observation Network</i>
ENI	Espèce non indigène
FFESSM	Fédération française d'Études et Sports sous-marins
FSC	Fondation Sciences citoyennes
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GCRMN	<i>Global Coral Reef Monitoring Network</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HEIMa	Habitats, Espèces et Intéractions marines
IFRÉE	Institut de Formation et de Recherche en Éducation à l'Environnement
INPN	Inventaire national du Patrimoine naturel
LEK	<i>Local ecological Knowledge</i>
LPO	Ligue de Protection des Oiseaux
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle
NBN	<i>national Biodiversity Network</i>
NHM	<i>natural History Museum</i>
OBJ*	Observatoire de la Biodiversité des Jardins
ONB	Observatoire national de la Biodiversité
OPJ*	Observatoire des Papillons des Jardins

PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i>
PIA	Programme d'Investissements d'Avenir
ProPaGe*	Protocole Papillons Gestionnaires
REBENT	Réseau benthique
RESOMAR	Réseau des Stations et Observatoires marins
RH	Ressources humaines
RHIZOMA*	Réseau d'études des Hippocampes et des Zostères par des Observateurs sous-marins en Manche et Atlantique
RIEM*	Réseau sciences marines participatives
ROP*	Réseau d'Observateurs en Plongée
SC	Science citoyenne
SINP	Système d'Information sur la Nature et le Paysage
SPN	Service pour le Patrimoine naturel
STOC*	Suivi temporel des Oiseaux communs
TEK	<i>Traditional ecological Knowledge</i>

* : Programmes, réseaux ou outils de science participative

LEXIQUE

<i>Barcoding</i>	Méthode d'identification des espèces par comparaison d'une courte séquence d'ADN (qualifiée de <i>barcode</i> à l'instar des codes à barres commerciaux auxquels ils ressemblent graphiquement et par leur fonction) à une base de données de référence (Hebert <i>et al.</i> , 2003)
Bathymétrie	La bathymétrie est la mesure de la profondeur marine afin de déterminer la topographie des fonds marins (Office québécois de la Langue française (OQLF), 2003).
Biodiversité	La biodiversité ou diversité biologique est définie comme la variabilité des organismes vivants de toute origine y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes. (Convention sur la Diversité biologique (CDB), 1992a)
Clé de détermination	C'est un outil d'aide à l'identification impliquant une succession de choix exclusifs de caractères, souvent morphologiques, et qui s'appuie généralement, sur le découpage taxinomique hiérarchique. La plupart sont dichotomiques, c'est-à-dire qu'à chaque étape, deux possibilités sont proposées (Munoz, 2011).
Convergence évolutive	Phénomène conduisant des lignées non apparentées à adopter indépendamment des caractères morphologiques semblables (Roland <i>et al.</i> , 2008).
Coralligène	La définition du coralligène ne fait pas consensus au sein des communautés scientifiques, mais il est caractérisé par la présence d'un bioherme complexe d'algues corallines se développant à bas niveau d'irradiance dans des eaux calmes et permettant le développement d'autres communautés (Ballesteros, 2006).
Homoplasie	État de caractère similaire ne descendant pas d'un ancêtre commun, mais apparu indépendamment par des voies différentes (Michaud <i>et al.</i> , 2003).

<i>Hotspot</i>	Un <i>hotspot</i> de biodiversité est une zone géographique abritant au minimum 1 500 espèces endémiques et ayant perdu 70 % de son habitat d'origine (Mittermeier <i>et al.</i> , 2005).
Interopérabilité	Possibilité d'une combinaison de séries de données et d'une interaction des services, sans intervention manuelle répétitive de telle façon que le résultat soit cohérent et la valeur ajoutée des séries et des services de données renforcée (Code de l'environnement, 2010).
Mégadonnées	Le terme mégadonnées ou <i>big data</i> renvoi à un ensemble de données structurées ou non, produites en temps réel ou en continu et dont le très grand volume requiert des outils d'analyses adaptés (OQLF, 2015).
Métadonnées	Ce sont des « données sur les données », c'est-à-dire des « informations décrivant les séries et services de données géolocalisées ou non géolocalisées et rendant possible leur recherche, leur inventaire et leur utilisation » (Code de l'environnement, 2010).
Ontologie	Ensemble d'informations dans lequel sont définis les concepts utilisés dans un langage donné et qui décrit les relations logiques qu'ils entretiennent entre eux (OQLF, 2002).
Phycologie	Ce terme regroupe les disciplines qui étudient les algues (OQLF, 2014a).
Phylogénie	La phylogénie étudie les relations évolutives entre les organismes (Raven <i>et al.</i> , 2007)
Plasticité phénotypique	Capacité d'un génotype à produire différents phénotypes en fonction de l'environnement (Debat, s. d.).
Science participative	La science participative (ou science citoyenne) est caractérisée par la collaboration de scientifiques et citoyens à des projets de recherche pour collecter un volume de données pertinent et suffisant sur une thématique précise et selon un protocole scientifique défini (OQLF, 2014b).
Systématique	La systématique est l'étude de la diversité biologique et de son histoire évolutive (Raven <i>et al.</i> , 2007)
Taxonomie	La taxonomie consiste à identifier, nommer et classer les espèces (Raven <i>et al.</i> , 2007)

INTRODUCTION

Dans le contexte actuel d'érosion de la diversité biologique, expliqué par les pressions de perte d'habitats, d'introduction d'espèces exotiques et envahissantes, de surexploitation des écosystèmes, de changement climatique et de pollution (Bertin et Tanguay, 2014), les océans sont particulièrement touchés. Les menaces pesant sur l'environnement marin, notamment la surexploitation des ressources, la destruction des habitats par des techniques de pêche destructive, la pollution physique et chimique auxquelles s'ajoute le changement climatique, le placent dans une position à haut risque, aux prémices d'une phase d'extinction des espèces marines (Rogers et Laffoley, 2012). Alors que le milieu marin représente 71 % de la surface de la Terre, seulement 20 % des espèces qu'il abrite sont découvertes (Mora *et al.*, 2011; Régnier *et al.*, sous presse). L'approfondissement des connaissances dans ce domaine est donc urgent, afin de mesurer la diversité des espèces et leur fonction dans l'écosystème avant qu'elles ne disparaissent et de limiter, voire d'éviter, la perte de cette biodiversité par des mesures de gestion et de protection des habitats marins adéquates. Il s'agit également d'une question financière puisque les services et fonctions écosystémiques rendus par les océans représentent entre 5 000 et 51 000 milliards d'euros chaque année et la perte de la biodiversité marine est une véritable catastrophe écologique et économique (Barroux, 2015).

Seulement, les alertes des scientifiques semblent insuffisantes et la ressource de la recherche elle-même peut vite être limitée par l'ampleur de la tâche. Il est en effet du ressort de chacun de participer et de s'impliquer pour la protection de la biodiversité. Mais cela doit provenir d'une prise de conscience, d'une sensibilisation qui amène la population à découvrir et à s'émerveiller de la nature et des espèces, pour ensuite, solliciter leur volonté de prendre part à la lutte contre cette perte de la biodiversité. C'est en cela que la science participative ou science citoyenne (SC) prend tout son sens : impliquer les citoyens, par leurs observations, dans des travaux scientifiques et notamment ceux portant sur la biodiversité. Que la SC consiste à des observations orientées dans le but de générer un flux de données pour des analyses scientifiques ou au contraire, à une sollicitation à observer la biodiversité avoisinante, « la nature ordinaire » (Legrand, 2013) ou les « espèces communes », elle n'en reste pas moins un outil croissant renforçant les liens entre le citoyen lambda et le chercheur souvent marginalisé par les perceptions sociétales actuelles et passées. Malgré le scepticisme de certains scientifiques, il apparaît pertinent de prendre en considération ce concept de SC à travers cet essai et de mesurer la portée qu'il peut avoir au sein des domaines de recherche consacrés aux algues et plus particulièrement à leur diversité. La tendance croissante de la SC repose notamment sur une prise de conscience grandissante

quant au devenir de la biodiversité, la volonté du public d'être utile tout en approfondissant ses connaissances, l'apparition et le déploiement des outils de communication, à quoi s'ajoute le manque de ressources temporelles et humaines de la recherche pour mener des études sur la diversité au long terme et à large échelle spatiale, ou tout simplement pour collecter ou traiter une masse de données qui demanderait trop de temps pour un seul chercheur. Et ce, dans un contexte scientifique où l'essor des analyses de mégadonnées permet de réaliser des études qui n'étaient pas envisageables jusqu'à lors.

Cependant, moins accessible et façonné par des contraintes physiques (profondeur, courant, ensoleillement, etc.), le domaine marin fait peu l'objet de programmes de SC en comparaison avec le domaine terrestre, même si la tendance va en augmentant. Finalement, seuls les plongeurs représentent une communauté sociale susceptible de réaliser des observations sous-marines, par le biais de photographies, ou de vidéo. Mais cela est un apport de connaissances non négligeable puisque ces moyens permettent d'afficher, aux yeux de tous, les merveilles non accessibles et représentent un poids crucial pour la sensibilisation de la société aux enjeux associés à l'environnement marin et à sa protection. Par ailleurs, la communauté de plongeurs connaît une croissance et une diversification (féminisation et élargissement des catégories socio-professionnelles) et se compose de certains spécialistes, familiers de sites de plongée, permettant l'établissement de suivis réguliers ou de surveillance et d'observations opportunistes, tandis que d'autres détiennent de fortes compétences naturalistes. Cette communauté représente donc une force de travail qu'il est important d'employer au service de la recherche et de la conservation relatives au milieu marin, et est alternativement considérée comme avant-gardiste, voire vitale, pour le devenir des océans (Cerrano *et al.*, 2010; Goffredo *et al.*, 2008; Pattengill-Semmens, 2001), dans un contexte où la communauté scientifique ne dispose pas de ressources humaines, temporelles et financières suffisantes pour mener un suivi de l'environnement marin pourtant nécessaire.

Plus surprenant encore, les données issues des initiatives participatives marines sont encore peu exploitées (notamment par la remise en question de leur validité) malgré leur importance, d'une part par leur quantité dont l'équivalence sera difficilement atteignable par les moyens scientifiques seuls, mais également par leur répartition permettant des comparaisons et évaluations multi-échelles (inter-pays, au sein de l'Europe ou internationale) (Schmeller *et al.*, 2009; Levrel *et al.*, 2010).

Les données de SC des programmes marins portent sur des organismes très divers et des efforts d'observations très contrastés. Ainsi, alors que les mammifères marins ou encore les coraux disposent de programmes populaires en faveur de leur observation, les algues sont un groupe très peu représenté

dans le paysage des sciences participatives. Par ailleurs, les données collectées à travers les rares programmes de SC portant sur les algues consistent quasi exclusivement en des photographies. Là apparaît un lourd problème : les algues sont extrêmement difficiles, voire impossibles, à identifier sur la base de caractères morphologiques ce qui compromet la productivité de l'apport de photographies et de manière générale, leur étude dans le cadre de la SC.

L'objectif de cet essai est de proposer des pistes pour surmonter ce verrou afin d'acquérir, utiliser et valoriser des données « algues » en provenance des programmes participatifs. Au préalable, différents objectifs spécifiques devront être atteints. Il est en effet essentiel de dresser un état des lieux des programmes de SC sur les algues ou plus largement sur le domaine marin, voire sur d'autres objets d'études similaires; d'identifier et décrire les voies de valorisation potentielles des données relatives aux algues en SC; de définir des critères adéquats et pertinents pour évaluer et discriminer ces propositions à travers une analyse multicritères; d'identifier les voies à prioriser, et d'émettre des recommandations quant aux orientations différentes à donner pour mener le développement et la valorisation scientifique des données sur les algues en SC.

Les informations utilisées pour alimenter ce présent essai sont issues d'une documentation diversifiée et ont fait l'objet d'une sélection pour leur qualité, leur intérêt et leur pertinence. Les données primaires ont été recueillies auprès de responsables de programmes de SC, d'experts ou de concepteurs de projets et logiciels. Les données secondaires proviennent d'articles scientifiques, rapports académiques, actes de conférences, de publications gouvernementales recherchées sur Internet, sur des bases de données (*Web of Science* (Thomas Reuters), *Google scholar*), sites de recensements nationaux de programmes ou encore en bibliothèque pour les monographies. La priorité a été donnée à des informations fiables/objectives, crédibles, pertinentes et dans la mesure du possible, récentes. Enfin, de nombreux projets similaires ont été considérés en tant que sources d'inspiration, mais également pour mesurer les avantages et inconvénients et ainsi, émettre des propositions en connaissance de cause.

Pour répondre à cette problématique, l'essai se compose de 7 chapitres. Le premier présente le contexte de la SC en exposant la diversité et la complexité de ce concept. Le second chapitre décrit l'objet d'étude, à savoir les algues, ainsi que les disciplines s'intéressant à leur diversité, qu'elle soit spécifique, supra-spécifique ou fonctionnelle, tout en précisant l'intérêt et les enjeux associés à l'intégration de données de SC dans ces travaux. Le troisième chapitre consiste à faire l'état des lieux des programmes de SC portant sur les algues. Le quatrième chapitre présente les différentes voies de valorisation et d'utilisation

considérées. Le cinquième chapitre consiste en une analyse multicritères des propositions faites pour sélectionner les plus pertinentes. Le sixième chapitre présente les pistes sélectionnées, en détaillant les caractéristiques et modalités pour leur mise en place. Enfin, et au regard des différents travaux de l'essai, le septième chapitre se compose de recommandations, tout d'abord spécifiques à l'utilisation et la valorisation des données sur les algues, puis de recommandations générales portant sur le développement de programmes de SC autour des algues.

1. MISE EN CONTEXTE

Cette section présente la SC afin de mieux appréhender le concept et les caractéristiques qui définissent son émergence et son récent essor. De plus, les différentes approches d'études intégrées en SC sont brièvement mises en lumière.

1.1 La science participative

Une description de la SC est proposée dans cette partie, en détaillant notamment le concept, l'origine et les caractéristiques de la démarche, les typologies qu'il est possible d'établir, son implantation au niveau international et national, ainsi que les limites relevées.

1.1.1 Présentation du concept, historique et objectifs

La SC est définie et caractérisée par :

« la collaboration entre scientifiques et citoyens bénévoles à des projets de recherche dans le but de collecter un volume de données pertinent et suffisant sur une thématique précise, sur la base d'un protocole scientifique reconnu » (OQLF, 2014b).

Elle désigne les démarches intégrant les citoyens, individuellement ou en groupe, dans des programmes de recherche par la réalisation d'observations, d'inventaires ou par d'autres formes de transmission de données et visant ainsi à lier l'univers scientifique à la société civile.

La participation de citoyens aux travaux de recherche n'est pas nouvelle. Dès le 16^e siècle, un certain public possédant des compétences naturalistes (majoritairement les hommes d'églises) était sollicité pour l'observation, la prospection ou encore la collecte de données et d'échantillons pour les muséums. Le « Siècle des Lumières » (18^e siècle) voit croître et se structurer la connaissance scientifique, avec un renforcement de la place des sciences dans la société, la diffusion de leur enseignement et l'augmentation de travaux scientifiques et de personnes impliquées. Des sociétés savantes se développent à partir du 19^e siècle avant de se spécialiser dans des domaines en lien avec les universités (botanique, ornithologie, entomologie, etc.) et d'initier la création de muséums régionaux organisant les activités naturalistes en provinces (Boeuf, 2014). Suite aux avancées technologiques, la professionnalisation de la recherche et la création de grandes institutions nationales et d'organismes de recherche, les apports publics aux travaux scientifiques se sont peu à peu essoufflés.

Cependant, au cours des dernières décennies, des évolutions dans les modes de pensée ont remis en cause l'exclusivité de la science et de son pilotage dans le cercle fermé réservé aux chercheurs, décideurs politiques et industriels, avec un renforcement de la capacité des acteurs sociaux à contester et produire des savoirs (Millot *et al.*, 2013). De plus, l'évolution de la société vers une situation de risques naturels, mais également anthropiques (Beck, 2003), a fait émerger le principe de précaution et croître la demande de participation aux processus décisionnels, sous forme de démocratie participative (Millot *et al.*, 2013). Cette évolution s'inscrit dans la crise de la recherche qui n'est pas simplement conjecturale mais provient d'une rupture avec la société alors que la science n'est pas indépendante des enjeux sociétaux (modes de pensée et de savoirs, politiques publiques, etc.).

Par ailleurs, depuis quelques dizaines d'années, les actions de protection de la nature ainsi que les préoccupations autour de l'érosion de la biodiversité et du changement global, associées à une importante médiatisation, ont favorisé l'émergence nouvelle de la SC. En 1992, lors de la Convention sur la Diversité biologique (CDB) les pays signataires s'engagent notamment à œuvrer en faveur de l'étude des composantes de la biodiversité et de leur évolution (CDB, 1992b) et à améliorer la compréhension des populations vis-à-vis de la biodiversité et des écosystèmes qui les entourent (CDB, 1992c). Il s'agit là d'un encouragement pour les états signataires à la sensibilisation des sociétés en développant un mouvement social complémentaire aux politiques de recherche et de gestion de la biodiversité et des écosystèmes (Boeuf, 2014).

Issu de courants de pensée anglo-saxons et latino-américains, le terme *participatory research* (recherche participative) apparaît dans les années 1970, tandis que le concept de Citizen science (Science citoyenne) émerge en 1995 dans l'œuvre d'Alan Irwin « *Citizen Science - A study of people, expertise and sustainable development* » (Irwin, 1995). Progressivement et par la volonté croissante de la société à s'impliquer dans des problématiques liées à la nature et à la biodiversité, l'expertise associative locale prend de l'ampleur, les usagers se mobilisent dans la production de savoirs et des mouvements de création coopérative émergent, jusqu'à la formation de réseaux associatifs (Millot *et al.*, 2013). Certains peuvent être considérés comme de véritables communautés épistémiques, à l'image de Tela Botanica (Millerand *et al.*, 2011). Les situations à l'échelle internationale et nationale sont respectivement détaillées en parties 1.1.4 et 1.1.5.

De nos jours, la SC présente plusieurs objectifs, dont : obtenir des données sur la nature et la biodiversité pour en étudier l'état et en organiser le suivi et la gestion sur le long terme; éduquer, sensibiliser et former la communauté civile, notamment par la production d'outils; promouvoir et renforcer les actions

locales, en matière de gestion de la biodiversité et des territoires, tout en instaurant un dialogue entre les différents acteurs concernés.

L'intérêt de la participation est alors double. D'un point de vue scientifique, l'accès à des données sur une grande échelle géographique et sur le long terme permet l'amélioration des connaissances sur la biodiversité et surtout la mise en place de suivis de grande ampleur spatiale qui n'auraient pu être réalisés par les chercheurs seuls. En effet, il existe un fort contraste entre l'effort scientifique nécessaire dans l'obtention des données et la masse critique de chercheurs se consacrant à l'étude de la biodiversité (Girard, 2012). La SC constitue alors une ressource alternative et complémentaire permettant de mieux appréhender la biodiversité, son évolution et l'effet des impacts sur celle-ci et ainsi mettre en œuvre des mesures de gestion pour la préserver (Boeuf *et al.*, 2012; Mathieu *et al.*, 2012). D'un point de vue social, la SC présente un intérêt éducatif et de sensibilisation, notamment par le développement d'outils adaptés, et vise ainsi la reconnexion de la société civile avec la nature, la familiarisation du public à la démarche scientifique et l'appropriation d'un sujet et la compréhension des enjeux relatifs à la biodiversité.

1.1.2 Communautés impliquées dans la science participative et enjeux associés

Il est important de préciser la diversité du public concerné et des communautés impliquées.

La naissance d'un programme peut provenir d'une initiative soit scientifique, avec l'implication d'une structure de recherche, soit associative. Les programmes scientifiques peuvent être intégralement pilotés par le laboratoire de recherche, être représentés par des relais locaux qui assurent leur mise en œuvre à cette échelle, ou encore posséder une animation déléguée à une association. Ce type de programme porte sur une problématique décidée par le laboratoire de recherche qui crée alors un protocole mis à disposition du public (ce dernier peut-être retouché et adapté en fonction des conseils pratiques des acteurs locaux et associatifs impliqués), et analyse les données récoltées. L'utilisation et la valorisation des données sont souvent, dans ce cas de figure, scientifiques et aboutissent à une intégration dans des publications ou l'alimentation de bases de données.

Pour les programmes associatifs, la problématique provient également d'un intérêt local pour une espèce ou un milieu. Certaines associations font appel à un laboratoire de recherche pour créer un protocole adéquat, ou simplement pour valider le protocole établi par l'association. Les données obtenues peuvent faire l'objet d'un simple bilan rendu aux participants, ou encore être analysées par des chercheurs sollicités à cet effet et être utilisées dans le cadre de travaux de recherche, tout comme celles issues des programmes scientifiques. Il est important de préciser qu'en France, les associations loi 1901

possèdent un fort poids et cela se retrouve dans les initiatives associatives de SC. La difficulté inhérente aux initiatives proposées par ces associations est que la plupart souffrent du manque de lien avec la sphère scientifique et se développent hors de tout cadre juridique. En France, cela résulte en la multiplication des programmes de SC associatifs sans que l'utilisation des résultats qui en sont issus ne suive proportionnellement cette tendance.

En ce qui concerne le public impliqué, un large spectre de participants est représenté. Il peut s'agir de personnes ayant des connaissances naturalistes très pointues et une bonne compréhension de la démarche scientifique, et considérées comme expertes, tout comme de personnes amatrices ou novices, ne possédant aucun bagage scientifique, mais pouvant réaliser une collecte de données dans le cadre de leurs activités (associations, groupes naturalistes, clubs de loisirs, etc.). Certains programmes recrutent un public d'internautes, c'est-à-dire des participations qui se font en ligne sans nécessité de sorties de terrains ou de compétences scientifiques. Enfin, un autre public correspond aux enfants qui, dans le cadre d'une activité scolaire, sont investis dans une démarche de collecte de données.

Les degrés d'investissement de ces différents publics sont divers, allant de la mobilisation occasionnelle à une veille en continu sur le long terme (Neubauer, 2013). Les missions de sciences participatives englobent alors un gradient de compétences inversement proportionnel aux nombres de participants (plus le niveau de compétences nécessaires est faible et plus il est possible d'impliquer un grand nombre de citoyens). Tout l'enjeu est de pouvoir proposer des programmes et des protocoles adaptés au niveau de compétences du public visé. En corollaire aux compétences et nombre de participants impliqués, se dresse la loi des grands nombres : plus l'effectif de données récoltées est élevé, plus la puissance et la précision des analyses augmentent alors que les incertitudes et erreurs sont neutralisées par traitement statistique (Teyssède et Couvet, 2011). Il est donc nécessaire de fixer un nombre minimal de données pour assurer leur validation, ce qui ne fonctionne que lorsque le nombre d'observations est conséquent (Boeuf *et al.*, 2012).

Actuellement, un des enjeux majeurs, du au fort essor de programmes de SC de tout type, est de pouvoir catégoriser et structurer les différentes démarches. Le but n'étant pas de juger la pertinence des initiatives, mais plutôt de pouvoir guider, orienter, accompagner et pérenniser les démarches participatives. En effet, les difficultés et limites respectives à chaque type de programme (d'origine scientifique ou initié par la société civile) ne pourront être résolues que si des recommandations et un cadre institutionnel à l'échelle nationale ou européenne, définissant chaque catégorie possible, sont émis. Par exemple, un programme lancé par un laboratoire sera particulièrement accompagné dans

l'animation et la mise en place d'un protocole simple et adapté au public pour rendre le projet attractif et à la portée du public visé, tandis qu'un programme à initiative civile se verra soutenu par des référents scientifiques pour l'établissement du protocole et l'analyse des résultats afin que le projet soit rigoureux et utile.

La sollicitation d'un grand nombre de participants va de pair avec l'émergence de l'analyse des mégadonnées. En effet, la possibilité d'analyser de grandes quantités de données a suscité l'idée pour certains chercheurs de faire participer le public pour collecter une quantité massive de données, qu'eux seuls n'auraient pu réaliser.

Par ailleurs, les données de SC peuvent compléter les travaux de recherche dans le sens où les citoyens apportent des données permettant la création d'indicateurs évaluant l'état des services écosystémiques et de la biodiversité et l'émission de scénarios pour anticiper et mieux répondre aux problématiques environnementales futures par la détermination de mesures de gestion les plus adéquates et adaptées possible (Boeuf *et al.*, 2012). Il est donc également question de la reconnaissance de savoirs d'amateurs ou de professionnels en milieu naturel (forestiers, jardiniers, etc.) et de la combinaison de ces connaissances avec celles des scientifiques permettant alors l'adoption d'un point de vue différent, voire plus complet, dans les problématiques environnementales (Girard, 2012).

De plus, la participation du public, la diffusion des résultats et les conclusions et recommandations qui en découlent alimentent un cercle vertueux avec une proposition de pratiques que les observateurs seront plus enclins à appliquer comme une suite logique de leur implication. De même, les programmes participatifs faisant appel à la mobilisation des citoyens, les mesures de gestion de la biodiversité qui en découlent seront plus favorablement acceptées par les acteurs de terrain (Julliard, 2010).

Ainsi, la démarche de SC a émergé sous une diversité de formes. Cela s'explique par la facilité et la possibilité de lancer des programmes, qui peuvent donc découler d'une initiative citoyenne ou associative tout comme avoir une origine scientifique. En corollaire, le public mobilisé, les compétences requises, et les objectifs poursuivis sont très divers. Les thématiques sur lesquelles portent les programmes sont, quant à elles, libres et touchent toutes les disciplines scientifiques (astrophysique, écologie, climat, biochimie, etc.). Mais elles peuvent également provenir de choix stratégiques particuliers : la volonté de mobiliser un maximum de participants mène plutôt à des espèces fédératrices, des espèces communes (même si la question de la nature ordinaire est délicate puisqu'elle représente à présent un enjeu scientifique), ou des espèces facilement accessibles et identifiables; *a contrario*, certains projets de SC d'origine scientifique ciblent des espèces ou milieux en danger ou protégés, et produisent des données qui seront plus à même d'alimenter directement leurs travaux de

recherche. Il en découle alors une gamme très diversifiée de programmes de SC qu'il est cependant important de pouvoir différencier, voire de classer.

1.1.3 Diversité des sciences participatives

La grande diversité de programmes de sciences participatives, tant par l'origine et la structure de l'initiative, la gouvernance des projets, le public ciblé ou encore les objectifs visés rend l'établissement d'une catégorisation difficile. Deux méthodologies d'établissement de typologies sont présentées ci-dessous : la première classe les concepts et modalités de la participation de la société civile (tableau 1.1); la seconde classe les programmes de SC eux-mêmes, en fonction de différents critères (tableau 1.2).

La typologie des différents concepts et/ou programmes de SC reste à ce jour assez floue, avec de multiples propositions qui dépendent principalement des acteurs et du point de vue adopté. Cela rend difficile de structurer les différentes démarches, que ce soit au niveau national comme international.

Tableau 1.1 : Typologies des concepts de SC (compilation d'après : Anadon et Savoie-Zacj, 2007; Bocquet, s. d.; Boeuf *et al.*, 2012, Conrad et Hitchley, 2011; Couvet et Teyssède, 2013; Giroux, 2011, Millot *et al.*, 2013 et Monceau, 2005)

ORIGINE	CRITÈRE(S)	TYPOLOGIE PROPOSÉE					
Rapport au ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (Boeuf <i>et al.</i> , 2012) et Bocquet (s. d)	Nature de la participation	Science ou recherche participative Un organisme de recherche est responsable du choix du sujet, du protocole, de l'interprétation des données et de l'émission des tendances sous-jacentes		Science ou recherche coopérative Partenariat entre le chercheur et le citoyen, avec co-construction du projet et réciprocité permanente de l'information, ce qui implique dialogue et partage entre les deux acteurs sur le long terme		Science ou recherche citoyenne Initiative individuelle ou collective libre, qui peut être limitée dans son aspect scientifique (validation ou traitement des informations), mais qui présente un fort aspect de sensibilisation et de prise de conscience du grand public sur les problématiques environnementales	
Giroux (2011) pour les programmes de la <i>Citizen Science Alliance</i>	Origine et priorités de l'initiative	Bénévolat scientifique Une équipe de recherche supervise des bénévoles sur des projets planétaires à caractère urgent où la priorité revient à la recherche scientifique	Science communautaire Initiative et gestion d'un projet par les citoyens à un niveau local et portant sur des besoins à cette échelle	Science citoyenne Collecte de données scientifiques par le citoyen sur une grande échelle au service d'un projet de recherche. Les priorités sont à la fois scientifiques et éducatives		Science participative Une collaboration est mise en œuvre à toutes les étapes du projet, qui est réalisé à petite échelle pour répondre à des besoins locaux. La priorité est donnée à l'éducation du public	
Étude réalisée par la Fondation Sciences citoyennes (FSC) (Anadon et Savoie-Zacj, 2007; Millot <i>et al.</i> , 2013 et Monceau, 2005)	Objectifs visés par l'intégration de la société civile	Recherche-action, recherche-action participative, recherche-action collaborative Caractérisées par un engagement politique et idéologique visant la transformation sociale du chercheur vis-à-vis du reste de la société. Il s'agit alors d'instaurer un espace de participation des citoyens soutenue par une méthode d'action politique			Recherche-intervention Visée analytique pour comprendre la perception de la société vis-à-vis notamment des problématiques environnementales et en initier le changement; Action collective dans la production de connaissances, où l'accompagnement de la société est primordial (en privilégiant des échanges horizontaux grâce à l'apparition de rôles d'animation, de coordination, de facilitation ou encore de médiation)		
Conrad et Hitchley (2011) pour les programmes nord-américains	Gouvernance	Suivis de biodiversité consultatifs Pilotage par une agence centrale (gouvernement, centre de recherche, etc.)		Projets collaboratifs Gouvernance par un groupe représentant les parties prenantes		Projets transformatifs Pilotage par la société civile (associations, communautés locales, etc.)	
Couvet et Teyssède (2013) sur les modes d'interaction au sein des sciences participatives	Gouvernance et objectifs	Schémas exploratoires: les observatoires extensifs de biodiversité Recherche sur l'état, le fonctionnement et/ou la dynamique des écosystèmes lancée par un laboratoire (définition des problématiques, réalisation du protocole, recrutement des observateurs, analyse des résultats) dans un but de production de connaissances			Schémas transformatifs: gestion des écosystèmes Recherche sur l'état et le fonctionnement des écosystèmes initiée par la société civile qui émet ses interrogations et a recours à la sphère scientifique pour définir les protocoles et analyser les résultats, dans un objectif de gestion et de conservation d'un écosystème		

Tableau 1.2 : Typologies des programmes de SC et exemples (compilation d'après : Bauer, 2010, Marchand *et al.*, 2013 et Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), 2014)

ORIGINE	Institut d'Information et de Recherche en Éducation à l'Environnement (IFRÉE) (Bauer, 2010)	Service du Patrimoine Naturel (SPN) (programmes marins) (Marchand <i>et al.</i> , 2013)	MNHN (programmes de Vigie-Nature) (MNHN, 2014)
CRITÈRE(S)	Public, objectifs de départ et protocole	Objectifs	Nature et compétences des acteurs impliqués
TYPOLOGIE DES PROGRAMMES DE SC	<p>Bases de données naturalistes collaboratives Bases de données alimentées par les naturalistes amateurs. Certaines sont peu ouvertes aux novices tandis que d'autres, tel que les atlas ou les inventaires associatifs, sollicitent la participation quel que soit le niveau d'expérience</p> <p><i>Flora Data</i> <i>Données d'Observations pour l'Identification et la Reconnaissance de la faune et de la flore subaquatiques (DORIS)</i></p> <p>Programmes basés sur un projet de recherche Projets officiels en lien avec des laboratoires de recherche, alliant des objectifs scientifiques à la sensibilisation des participants</p> <p><i>Observatoire de la Biodiversité des Jardins (OBJ)</i> <i>Phénoclim</i> <i>Observatoire des Papillons des Jardins (OPJ)</i></p> <p>Programmes à visée éducative ou de gestion et conservation Cette catégorie contient des projets différents, souvent liés à gestion ou la conservation de la biodiversité avec une forte implication du public</p> <p><i>Protocole Papillons Gestionnaires (ProPaGe)</i> <i>Observatoire de la flore patrimoniale du Pilat</i> <i>Voyages Bio Sous-Marine</i></p>	<p>Programmes de suivi Analyse statistique des données récoltées <i>Cybelle Méditerranée</i></p> <p>Programmes d'inventaire Recensement, identification, localisation et description <i>Hippo-Atlas (Opération Réseau d'études des Hippocampes et des Zostères par des Observateurs sous-marins en Manche et Atlantique (RHIZOMA))</i></p> <p>Programmes de signalement Données de répartition de l'espèce concernée <i>Opération Cétacées</i> <i>Requins pèlerins</i></p>	<p>Programmes ouverts à tous <i>Sauvages de ma rue</i> <i>Biodiversité du Littoral (BioLit)</i></p> <p>Programmes réservés aux naturalistes <i>Vigie-Flore</i> <i>Suivi temporel des Oiseaux communs (STOC)</i></p> <p>Programmes de manipulations (expériences à réaliser) <i>Vigie-Manip'</i></p> <p>Programmes pour les professionnels (agriculteurs, gestionnaires d'espaces verts) <i>ProPaGe</i></p> <p>Programme pour les scolaires <i>Vigie-Nature École</i></p>

1.1.4 La science participative à l'échelle internationale

À l'échelle internationale, la SC se retrouve sous les termes de *participatory action research*, *community based research* ou encore *public participation in scientific research*. Les pays se détachant par une SC solidement établie sont le Canada, les États-Unis, l'Inde et plusieurs autres pays d'Amérique ou d'Afrique du Sud (Millot *et al.*, 2013).

Le premier programme s'assimilant à la SC est le recensement des oiseaux lancé en 1900 aux États-Unis par Franck Chapman, « *Christmas Bird Count* » (actuellement piloté par la société Audubon et étendu au Canada) et qui mobilise encore aujourd'hui une dizaine de milliers d'observateurs pour plus de 66 millions d'oiseaux comptés en 2013 (LeBaron, 2014). Actuellement, les programmes de sciences participatives nord-américains sont regroupés sous l'association *Citizen Sciences* (1970) qui regroupe plus de 400 projets s'inscrivant dans de nombreuses disciplines (Citizen Science Alliance, s. d.). À ce jour, le programme « *Foldit* » est l'exemple de participation citoyenne le plus impressionnant avec la découverte par un groupe d'amateurs, en 2011, du repliement d'une protéine étudiée dans la recherche sur le sida (Cook, 2012).

L'Europe a, quant à elle, joué un rôle pionnier dans les années 70 par la création des boutiques de sciences (initiées par les universités néerlandaises) qui mettaient à disposition de la société civile les connaissances scientifiques et créaient ainsi une interface entre les deux univers (Millot *et al.*, 2013). La reconnaissance des sciences participatives par la Commission européenne et l'Agence européenne pour l'Environnement a abouti à la création de l'Association européenne pour les Sciences participatives (ECSA). Cette dernière est destinée à promouvoir le concept et l'utilité des sciences participatives (ECSA, s. d.). Malgré l'avancée dans les réflexions autour de la SC, l'établissement d'un cadre institutionnel européen n'en est qu'à ses prémices (Kundasamy, 2014). Il n'en est pas moins un taux de participation très important dans les pays anglo-saxons du fait de la forte implication des populations dans la vie collective, l'importance des associations dans les services publics, ou encore la confiance faite aux protocoles et aux projets collectifs qui ne se retrouvent pas en France (Boeuf *et al.*, 2012). L'intégration de la SC au niveau politique est la plus aboutie en Grande-Bretagne puisque 7 des 24 indicateurs de biodiversité utilisés dans l'établissement des politiques environnementales en découlent (Boeuf *et al.*, 2012).

1.1.5 La science participative en France

À l'échelle nationale, il existe une multitude de programmes de SC très divers et la difficulté majeure est de pouvoir établir une liste exhaustive. De plus, malgré un engouement croissant de la part des français, le nombre de participants reste faible face à celui observé en Grande-Bretagne ou aux États-Unis. En France, la SC se met en place majoritairement sous forme d'observatoires dédiés à des disciplines diverses (ornithologie, entomologie, botanique, climatologie, etc.).

Un nombre important de projets de SC est géré par le MNHN et regroupé sous le réseau Vigie-Nature (20 programmes, 15 000 observateurs et plus de 100 publications scientifiques) (MNHN, 2014). Coordonné au niveau national et déployé au niveau régional, il s'agit d'un dispositif de suivi de l'état de santé de la nature ordinaire à travers des groupes indicateurs de biodiversité (oiseaux, papillons, chauve-souris, plantes et amphibiens) s'appuyant sur les réseaux naturalistes volontaires. Le premier observatoire, STOC, fondé en 1989 et consacré aux oiseaux communs, découle d'ailleurs de ce réseau. Actuellement, de nouvelles voies sont explorées, comme le projet « Les herbonautes », consistant au report des informations présentes sur les planches d'herbier numérisées dans le cadre de la rénovation de l'herbier de Paris, la surveillance d'espèces invasives, ou encore le développement de Vigie-Nature École pour sensibiliser le public dès le plus jeune âge (Grenon, 2014).

Par ailleurs, un Programme d'Investissements d'Avenir (PIA) intitulé « 65 millions d'observateurs » (en référence au nombre d'habitants en France) a récemment été approuvé pour réorganiser le réseau Vigie-Nature afin d'en faire un outil structurant, performant et pérenne. Il s'agira notamment de rassembler les efforts et les dispositifs pour obtenir une taille critique, assurer l'interopérabilité et la robustesse des données et enfin, mobiliser et fidéliser le plus grand nombre d'observateurs tout en mettant en place nouveaux partenariats locaux sous forme de relais (Julliard, s. d.).

En outre, la collecte de ces données de forme et d'origine très diversifiées a très vite fait naître la nécessité de créer un espace de regroupement et de sauvegarde. Un Observatoire national de la Biodiversité (ONB) a donc vu le jour et s'appuie sur la connaissance de la biodiversité acquise au travers du Système d'information sur la Nature et le Paysage (SINP) (MEDDE, s. d. a). Ce dernier est un système d'information national, structuré et pérenne, hébergeant l'ensemble des données validées de manière sécurisée et interopérable (Le Tellier, 2014).

Également, en 2012 a été créé le Collectif national des Sciences participatives-Biodiversité, un réseau de réflexion, de coordination et d'animation des différents acteurs du domaine co-animé par la Fondation

Nicolas Hulot pour la Nature et l'Homme et l'Union nationale des Centres permanents d'Initiatives pour l'Environnement (CPIE) (MEDDE, s. d. b).

Enfin, parmi les 16 indicateurs de biodiversité pour les politiques environnementales en France, « Tendances dans la distribution d'espèces ciblées » est le seul qui ne relève pas de ressources exploitées, mais ce dernier est intégralement dépendant de la collecte de données par des volontaires.

1.1.6 Limites de la science participative

De nombreuses limites peuvent être perçues dans la démarche générale de SC.

D'un point de vue technique, la problématique de la validité et fiabilité des données se pose. Malgré les mesures prises pour éviter les erreurs (effectif important de données, utilisation de photos pour l'identification, outils statistiques pour inférer la qualité des données (et éventuellement corriger de putatives erreurs)), le risque n'est pas nul et une erreur peut parfois modifier les résultats de l'étude (Milot *et al.*, 2013). La question de la formation des collecteurs, relayée ensuite par l'autoformation et la transmission au sein des associations et réseaux de SC est aussi une question mise au-devant de la scène et pour laquelle le MNHN pourrait jouer un rôle initiateur (Boeuf *et al.*, 2012).

Par ailleurs, la question de l'intégration des données dans le SINP et l'Inventaire national du Patrimoine naturel (INPN) est également soulevée. Il est indéniable que la SC représente une valeur ajoutée et un enrichissement des bases de données, mais pour cela, les informations doivent être validées, suivre un cadre uniforme, être interopérables et leur origine et caractéristiques de collecte doivent pouvoir être retrouvées à tout moment. Le constat actuel met en évidence de nombreux freins au processus de bancarisation des données de SC, notamment le contraste dans les types de données récoltées et leur degré de précision, la variabilité de compétence et d'expertise du public concerné et la difficulté d'identification de certains taxa (notamment en milieu marin) (Levrel *et al.*, 2010, Wiggins *et al.*, 2011). C'est pourquoi, le SPN, suite à un recensement des processus de bancarisation et de valorisation des données mis en œuvre dans différents programmes et l'établissement d'une typologie d'éligibilité à l'intégration, rédige actuellement une note méthodologique d'intégration des données dans l'INPN (Marchand *et al.*, 2013). Il est également soulevé la nécessité d'une « certification nationale » pour encadrer la collecte des données de SC et favoriser leur utilisation et valorisation (Boeuf *et al.*, 2012). Par ailleurs, en 2011 a été créé le réseau *Citizen Science Statistiques* (CiSStats), visant à mieux valoriser les jeux de données issus des programmes de SC par le développement d'approches, de méthodes et

d'outils statistiques robustes, utilisables par tous, et interopérables (Marchand *et al.*, 2013, CiSStats, s. d.).

Enfin, la SC peut être remise en cause dans le fond même des méthodes d'étude, majoritairement axées sur l'espèce ou l'individu. Or, étant au service de l'étude de la biodiversité, elle ne s'intéresse alors qu'à une seule composante de cette dernière, qui n'est que la représentation simpliste, voire erronée, de la réalité et ne permet pas au public de mesurer toute la complexité de la biodiversité et l'ampleur des enjeux rattachés. (Boeuf *et al.*, 2012)

D'un point de vue organisationnel, certaines disciplines souffrent du manque de spécialistes ou de chercheurs impliqués, ou à l'inverse, certaines communautés ne reconnaissent pas la compétence d'institutions nationales et se tournent vers des organismes étrangers (Boeuf *et al.*, 2012).

De plus, l'implication médiatique inhérente à la SC peut influencer les thématiques des programmes, pour des intérêts de communication ou financier.

Par ailleurs, la SC se confronte à certains conflits relationnels au sein même de la sphère scientifique. Une mauvaise compréhension des objectifs ou des méthodes de SC, la non-adhésion de certains scientifiques quant à la vision et à la finalité de la démarche, ou tout simplement la diversité des acteurs, objectifs ou programmes confèrent à la SC une image désordonnée qui ne favorise pas son adoption et peut même susciter de la véhémence. À cela s'ajoute le fait que les institutions ou structures de recherche ne sont pas évaluées sur les projets participatifs, ce qui ne les incite pas à mobiliser leur plein potentiel et à donner des priorités à cette démarche (Combat, 2010).

Il peut également y avoir des problèmes de communication internes à certains programmes avec, par exemple, des difficultés à identifier les têtes de réseaux ou référents, ce qui peut impacter l'efficacité ou la rapidité du projet de SC (Boeuf *et al.*, 2012).

Des efforts sont également à fournir pour créer un lien avec l'enseignement supérieur et prévoir par exemple des formations ou des cursus spécifiques pour favoriser la sollicitation et la sensibilisation des étudiants (depuis la licence jusqu'au doctorat) sur le concept de SC (Millot *et al.*, 2013).

Enfin, la SC n'est pas ou peu développée dans les territoires d'outre-mer et nécessiterait d'être encouragée et organisée (Boeuf *et al.*, 2012).

De manière générale, un fort contraste entre les thématiques est perçu, avec certaines qui sont bien alimentées tandis que d'autres souffrent d'un manque de participants et/ou de données. Cela peut être expliqué par l'appréciation préférentielle de certains thèmes par le grand public, par un paysage

associatif marqué par l'existence d'associations dans certains domaines (ornithologie, herpétologie, etc.) accélérant ou facilitant le développement de SC dans ces disciplines, par des contraintes techniques (accessibilité, facilité de mesure ou d'identification, etc.) ou encore la nature même des données récoltées qui peut rendre difficile la valorisation ou l'utilisation dans les travaux de recherche.

Ainsi, le milieu marin est nettement moins représenté dans les initiatives de SC que le milieu terrestre et parmi les programmes marins, les algues font peu l'objet de collecte de données en comparaison à d'autres organismes comme les cétacés ou les hippocampes.

1.2 Qu'étudient les sciences participatives ?

La diversité des sciences participatives leur confère la particularité de pouvoir alimenter différents niveaux d'étude de la biodiversité et s'inscrire à des échelles temporelles et spatiales diverses.

L'étude de la biodiversité englobe quatre composantes : la diversité génétique, soit la variabilité intraspécifique qui est un déterminant de la capacité des populations et des espèces à résister et à récupérer à la suite d'une perturbation; la diversité spécifique, correspondant à la variété d'espèces et autres groupes taxonomiques au sein d'un écosystème et déterminant la complexité et la résilience d'un habitat; la diversité des écosystèmes, soit la variabilité, la dynamique des communautés biologiques et leurs interactions avec l'environnement; la diversité fonctionnelle, c'est-à-dire les processus, fonctions et caractéristiques d'un écosystème (Gouletquer *et al.*, 2013).

Les sciences participatives, sont par leur origine et leur nature plus à même d'alimenter les travaux portant sur la diversité spécifique, avec notamment des actions d'inventaires et d'observations, de comptages du nombre d'individus par espèces, du nombre d'espèce, de leur surface de recouvrement (pour les plantes). Pour ne citer que quelques exemples, c'est le cas de « Flora Data » ou « Sauvages de ma rue » pour l'identification taxonomique en botanique, de « ProPaGe » ou l'« OJD » pour l'entomologie, ou encore du programme « Des nichoirs dans la plaine » pour l'ornithologie. Des programmes tels que « Capsule d'Œuf de Raie » (CaPoeRa) cernent directement une espèce ou un groupe taxonomique pour aider à la détermination des enjeux de conservation relatifs à l'objet étudié.

De manière générale, les espèces les plus observées sont des espèces communes ou ordinaires. D'autres programmes peuvent cibler des espèces menacées (ex. : « Monarque sans frontières ») même si cela reste rare. En effet, un manque d'appui politique empêche de mettre en place les moyens nécessaires pour le suivi de taxons à enjeux (Gosselin *et al.* 2010). Enfin, certains programmes portent sur des espèces invasives, comme le frelon asiatique (MNHN, 2014), mais la majorité des programmes

d'initiative publique ou même scientifique portent sur des taxons fédérateurs ou emblématiques, pour des questions de facilité de mise en œuvre, mais également pour solliciter l'intérêt du public et attirer le maximum de participants.

Au niveau de l'emprise temporelle, certains programmes s'intéressent au suivi de la biodiversité ou des espèces sur le long terme. Notamment, la phénologie des espèces est ciblée dans des programmes tels que « Phénoclim », l'« ODS » ou encore l'« Observatoire de la flore patrimoniale du Pilat » (dont une partie des relevés est dédiée à la phénologie) afin de déterminer les dynamiques physiologiques et phénologiques en fonction des saisons et du changement climatique.

D'autres programmes, réalisés sur le court terme et visant les données issues d'observations à l'instant t, renseignent sur l'état actuel de la diversité d'une espèce, d'un milieu ou d'un groupe taxonomique ou encore sur la présence d'une espèce (invasive, rare ou protégée) à un endroit donné.

D'un point de vue spatial, certains inventaires sont réalisés à échelle restreinte (locale ou régionale) dans le but de réaliser un atlas et ainsi contribuer à la mise en place de mesures de gestions adaptées à l'état des lieux actuels. L'« Atlas des mammifères d'Île-de-France » ou l'« Atlas des amphibiens et reptiles de Bretagne » en font partie. Les programmes tels que l'« OPJ », qui cerne les impacts anthropiques sur les papillons, sont également des outils pour la sélection de mesures de gestion et de protection à échelle restreinte.

D'autres programmes recueillent des informations spatialement dispersées afin de dresser une analyse globale de l'état de santé d'un écosystème à différents points du globe, tels que les programmes « Reef Check » pour les écosystèmes coralliens.

Enfin, les sciences participatives permettent l'émission d'indicateurs de biodiversité au niveau des politiques environnementales et participent ainsi à la gestion et à la préservation de la biodiversité à l'échelle de politiques locales ou nationales, à l'image des programmes proposés par la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO). Il est tout de même à noter que ces indicateurs ne sont pas impartiaux, mais relatifs aux espèces qu'il est possible de suivre (Gosselin *et al.*, 2010).

2. DÉCLINAISON DANS LES AXES D'ÉTUDES CONCERNÉS EN PHYCOLOGIE ET AUTRES PERSPECTIVES

Ce chapitre vise à décrire le domaine dans lequel la SC sera considérée, à savoir la phycologie. Une première partie présente brièvement les algues, leurs caractéristiques et fonctions, ainsi que les enjeux associés. Ensuite, une partie des activités de recherche relatives aux algues est expliquée, en ciblant particulièrement l'approche systématique et fonctionnelle. Enfin, une réflexion sur l'intérêt d'intégrer des données de SC dans les travaux de recherche portant sur les algues est menée.

2.1 La phycologie

La phycologie est la science qui étudie les algues (OQLF, 2014a). Elle englobe une multitude de disciplines scientifiques, détaillées ultérieurement, qui ont toutes en commun l'objet d'étude. Le terme « algue » est parfois remis en cause face à la diversité taxonomique des organismes qu'il désigne. En effet, il renvoie à des êtres vivants de taille variée (du micromètre à plusieurs dizaines de mètres), allant de la bactérie (algue bleue ou cyanobactérie) à des organismes eucaryotes, uni (microalgues) ou pluricellulaires (macroalgues).

Les algues vivent dans les milieux aquatiques ou les milieux humides, en colonies ou seules, fixées ou libres (Leclerc et Floc'h, 2010). Elles possèdent des pigments variés, dont la chlorophylle qui leur permet de réaliser la photosynthèse, les plaçant ainsi dans les organismes autotrophes (producteurs primaires).

Cet essai se focalise sur les macroalgues qui contiennent trois grandes lignées évolutives se distinguant par leur contenu pigmentaire et par conséquent par leur couleur : les Phaeophyceae (algues brunes), les Rhodophyta (algues rouges) et les Chlorophyta (algues vertes).

D'un point de vue phylogénétique, les macroalgues ne constituent pas un groupe monophylétique. Alors que les algues rouges et vertes appartiennent à la lignée des Plantae, les algues brunes appartiennent à la lignée des Stramenophiles (figure 2.1).

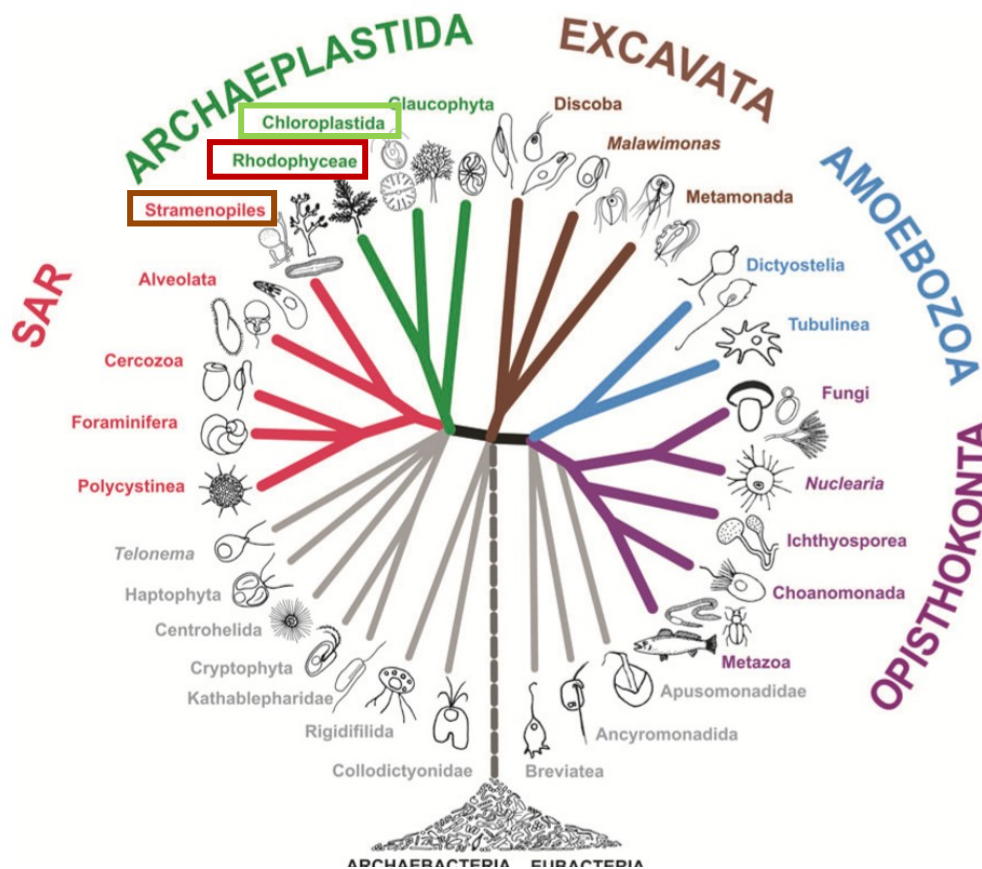


Figure 2.1 : Aperçu schématique de la phylogénie des Eucaryotes et mise en évidence des lignées contenant les algues vertes, rouges et brunes (tiré de : Adl *et al.*, 2012, p. 432)

Les algues vertes (Chlorophyta), caractérisées par la couleur de la chlorophylle qui n'est pas masquée par d'autres pigments, regroupent environ 1 690 espèces de macroalgues marines, appartenant à la classe des Ulvophyceae (Algaebase, s. d. a). Peu diversifiées en eaux tempérées, les algues vertes présentent une grande diversité spécifique et morphologique en eaux tropicales. Elles occupent les zones intertidales et peu profondes, même si certaines peuvent être retrouvées plus en profondeur. Les algues vertes peuvent être vésiculeuses (*Valonia*) (figure 2.2.h), d'allure filamenteuse (*Chlorodesmis*) (figure 2.2.f), en lames (*Ulva*) (figure 2.2.c) et certaines sont calcifiées (*Halimeda*) (figure 2.2.g).

Les algues rouges (Rhodophyta) contiennent des pigments rouges (phycoérythrines) et bleus (phycocyanines), masquant la chlorophylle. Elles comptent approximativement 6 948 espèces multicellulaires (dont la majorité appartient à la classe des Florideophyceae) (Algaebase, s. d. b) et représentent une lignée sœur des algues vertes et plantes terrestres. Elles occupent autant les zones intertidales que plus profondes et comprennent des formes allant d'une allure filamenteuse (*Ceranium*,

Griffithsia) (figure 2.2.i) à des lames foliacées épaisses (*Titanophora*) jusqu'à des formes encrûtantes. Ces dernières peuvent présenter une calcification très importante, donnant à l'algue l'allure d'une roche. C'est le cas des corallines qui peuvent adhérer étroitement au substrat (*Hydrolithon*) (figure 2.2.e).

Les algues brunes (Phaeophyceae) doivent leur couleur brun-jaune à la fucoxanthine masquant la chlorophylle. Elles comptent 2 042 espèces (Algaebase, s. d. c), toutes multicellulaires, retrouvées en majorité dans les zones tempérées à froides où certaines espèces, les *kelps*, atteignent des records de taille et forment de véritables forêts sous-marines. Les algues brunes présentent des formes allant de filaments simples (*Ectocarpus*) (figure 2.2.b) à de grandes lames (*Sargassum*, *Laminaria*) (figure 2.2.a) ou encore peuvent être calcifiées (*Padina*) (figure 2.2.d).



Figure 2.2 : Diversité morphologique des algues, quelques exemples.

De haut en bas : a. *Laminaria digitata* : algue brune en lame (© M. Guiry). b. *Ectocarpus siliculosus* : algue brune filamenteuse (© D. Littler). c. *Ulva rigida* : algue verte en lame (© M. Guiry). d. *Padina pavonica* : algue brune épaisse coriacée encrûtante (© M. Guiry). e. *Hydrolithon reinboldii* : algue rouge encrûtante (© J. Huisman). f. *Chlorodesmis fastigiata* : algue verte filamenteuse (© P. Skelton). g. *Halimeda cuneata* : algue verte calcifiée articulée (© J. Huisman). h. *Valonia macrophysa* : algue verte vésiculeuse (© H. Verbruggen). i. *Griffithsia corallinoides* : algue rouge filamenteuse (© M. Guiry). (compilation d'après : Algaebase, s. d. d)

Les travaux de systématique moléculaire de ces 20 dernières années ont montré que notre connaissance de la diversité des algues était lacunaire. Des phénomènes tels que la convergence morphologique ou encore la plasticité phénotypique rendent difficile la détermination de la diversité spécifique à partir d'observations morpho-anatomiques seules et dressent un enjeu majeur dans le domaine de l'identification (Le Gall, 2015a). En effet, des individus de deux genres ou espèces distincts peuvent, sous mêmes pressions environnementales, s'adapter de manière similaire et ainsi converger morphologiquement par homoplasie, les rendant similaires à l'œil nu alors que leur origine phylogénétique est bien distincte (Michaud, 2006). Cette diversité cryptique ne peut être détectée que par des analyses de taxonomie moléculaire.

Par ailleurs, des individus d'une même espèce peuvent présenter une apparence très différente en fonction des conditions biotiques et abiotiques locales. Elles pourraient être considérées à l'œil nu comme deux espèces différentes alors qu'il ne s'agit que de plasticité phénotypique.

Même si les algues ont une distribution mondiale, leur répartition ne suit pas les patrons de diversité globaux (Keith *et al.*, 2013). Les plus fortes richesses génériques se trouvent dans les zones tempérées, ce qui contraste avec la majorité des autres groupes d'organismes marins dont la richesse prédomine au niveau des tropiques (Kerswell, 2006). Cela explicite l'importante diversité algale observée sur les côtes françaises de l'Atlantique et de la Méditerranée : ces zones constituent des *hotspots* de diversité algale qu'il est donc important d'étudier et de protéger.

La distribution des macroalgues et sa variation géographique sont influencées par les conditions environnementales. Alors que la diversité aux hautes altitudes semble être expliquée par des facteurs abiotiques (salinité, température de surface, nutriments, etc.) et la tolérance des organismes vis-à-vis de ces derniers, la distribution au niveau des tropiques découle majoritairement de facteurs biotiques. Pour les macroalgues, la distribution atypique de leur diversité, avec notamment des taux plus faibles au niveau des tropiques, peut s'expliquer par les pressions de compétition (coraux) et de prédateurs (herbivores) présentes dans ces régions et renforçant l'implantation d'espèces adaptées à ces conditions plutôt que l'arrivée de nouvelles espèces. De plus, la faible diversité au niveau des tropiques peut être due à un temps de diversification insuffisant. (Keith *et al.*, 2013)

Les algues font l'objet de diverses disciplines (toxicologie, chimie, physiologie et métabolites secondaires, biotechnologies (notamment pour les biocarburants), écologie, biologie évolutive, etc.) et différents enjeux y sont associés. Les macroalgues, poussant pour l'essentiel le long de la frange littorale, sont des organismes extrêmement sensibles au changement global. En effet, 60 % de la population

humaine se concentrant sur la grande zone côtière (Béoutis *et al.*, 2004), l'impact de l'anthropisation est très marqué sur le littoral. Enfin, le changement climatique que l'on pensait tamponné en milieu marin s'avère très important (Pachauri et Reisinger, 2007) notamment aux latitudes tempérées (Bartsch *et al.*, 2012, Gallon *et al.*, 2014). Les algues peuvent donc être considérées comme des indicateurs pour étudier l'effet du changement global et prédire les effets ultérieurs sur des espèces associées (Bender *et al.*, 2014; Doropoulos et Diaz-Pulido, 2013; Gil-Diaz *et al.*, 2014; Ordonez *et al.*, 2014).

Par ailleurs, l'augmentation du trafic maritime et des échanges favorise l'introduction d'algues en dehors de leurs zones natives (Molnar, 2008) et certaines se révèlent être des espèces invasives qui menacent la biodiversité de milieux et des espèces endémiques qui s'y trouvent. C'est notamment le cas de *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée, déversée dans le milieu naturel depuis l'Aquarium de Monaco (Boudouresque, 2000), d'*Asparagopsis* dans le Pacifique-Sud et en Méditerranée (Dijoux, 2014) ou encore de *Polysiphonia morrowii* en Bretagne (Geoffroy *et al.*, 2012).

Enfin, les changements climatiques et les impacts des activités humaines peuvent être à la source de prolifération de certaines d'entre elles et aboutir à des phénomènes d'eutrophisation des milieux ou encore à des marées vertes, comme c'est le cas pour les ulves sur les côtes bretonnes ou des sargasses sur les côtes antillaises.

D'un point de vue scientifique, les enjeux autour des algues résident en l'établissement de moyens et méthodes d'étude relatifs à la diversité fonctionnelle, car l'absence d'une base de données de traits obère l'initiation de travaux de recherche sur cette thématique. Par ailleurs, les phylogénies mêmes de nombreuses familles, genre et espèces restent incertaines, avec des constats de diversité cryptique, de convergence et de plasticité intraspécifique qui remettent en question la pertinence des identifications sur la seule base des caractères morpho-anatomiques à la faveur d'approches de taxonomie moléculaire.

2.2 La recherche sur les algues : diversité intra et interspécifique et diversité fonctionnelle

La diversité intraspécifique cible la variabilité génétique à l'intérieur des espèces par une approche de génétique des populations en écologie ou encore de taxonomie et systématique phylogénétique en biologie évolutive.

L'approche taxonomique consiste à décrire et déterminer l'appartenance des êtres vivants à un groupe phylogénétique (ou taxon), qui sont alors, par le biais de la systématique, hiérarchiquement classés à partir des degrés de parenté et en fonction d'hypothèses particulières régissant la phylogénie. La taxonomie a longtemps reposé sur l'observation de critères morphologiques, et des ressemblances perçues entre spécimens. Des clés de détermination dichotomiques sont utilisées afin d'identifier les

organismes par une succession de choix exclusifs se référant à une partie des caractères morphologiques observables (Munoz, 2011). Puis, avec les avancées en matière d'observation microscopique, des critères anatomiques furent pris en considération pour approfondir les connaissances sur la cytologie des spécimens et améliorer la classification des taxons. L'essor des technologies en génétique et biologie moléculaire s'est accompagné d'une nouvelle approche, la phylogénie moléculaire basée sur des caractères tels que les séquences nucléotidiques ou protéiques pour déterminer les liens de parenté entre les organismes. De nombreuses séquences d'Acide désoxyribonucléique (ADN) ont pu être obtenues à partir de techniques comme la *Polymerase Chain Reaction* (PCR) et le séquençage ciblant des régions spécifiques du génome nucléaire, chloroplastique ou mitochondrial et nommées marqueurs moléculaires. Ces derniers sont sélectionnés pour leur ubiquité (présence chez les taxons étudiés) et pour la présence d'une région variable entre espèces et entourée de régions conservées afin de mettre en exergue la variabilité entre espèces et mesurer la proximité phylogénétique. Les données moléculaires permettent ainsi d'évaluer quantitativement la distance génétique entre espèces et comme il est, dans la plupart des cas, question de variations neutres, des temps de divergence peuvent être considérés à partir des distances génétiques (Morange, 2003). Ce nouvel apport d'informations a provoqué une révision de la classification des espèces avec de profonds changements dans la systématique préalablement établie, tant en terme de désignation générique et spécifique que dans le réarrangement des branches des arbres phylogénétiques considérant les taxons étudiés. En effet, cette approche a permis de mettre en évidence des relations de parentés entre espèces morphologiquement très différentes ou au contraire de distinguer des taxons qui possédaient de fortes ressemblances morphologiques.

Suite à cela, l'approche de *barcoding* a été proposée (Hebert *et al.*, 2003) et est actuellement soutenue par le *Consortium of the Barcode of Life* afin d'identifier plus facilement les spécimens étudiés en attribuant une séquence unique d'ADN à chaque espèce (Hebert et Gregory., 2005). Les séquences d'ADN des spécimens récoltés peuvent alors directement être comparées aux séquences de référence pour déterminer l'espèce dont il est question (À noter tout de même que certaines familles d'algues possèdent très peu de séquences de références disponibles et il est alors difficile d'identifier les spécimens par cette pratique).

Cependant, alors que certaines études ne portaient que sur l'étude phylogénétique d'espèces à partir d'informations issues d'un seul marqueur, il est actuellement mis en évidence la nécessité de confronter différents marqueurs pour confirmer la systématique phylogénétique (Hebert *et al.*, 2004; Hebert et Gregory, 2005; Dasmahapatra et Mallet, 2006). En effet, l'origine des génomes peut expliquer des

vitesse d'évolution ou des mutations propres, conduisant à des dissimilarités intra et inter-taxon dans les arbres phylogénétiques selon le marqueur étudié ou à des relations de parentés qui ne sont pas conformes à la réalité. La plupart des travaux publiés sur la phylogénie de groupes d'algues présentent des résultats basés sur la concaténation de séquences issues de marqueurs ou gènes de différents compartiments. De plus en plus fréquemment il est fait mention de l'enjeu d'instaurer une approche taxonomique intégrative, reposant à la fois sur des critères morphologiques et moléculaires pour l'établissement complémentaire d'une phylogénie congruente.

Par ailleurs, un second enjeu émerge et correspond à l'intégration, dans une même étude, d'outils de la génétique des populations et de l'écologie des communautés (Johnson et Stinchcombe, 2007; Robuchon, 2014) afin de fonder une démarche complète, alimentée par une complémentarité d'informations, et donc plus efficace et fiable.

L'écologie des communautés s'intéresse à la diversité des espèces au sein d'une communauté (diversité interspécifique). Par cette approche, la diversité est mesurée en prenant en compte à la fois la richesse spécifique (nombre d'espèces) et l'équitabilité entre ces espèces. Elle se mesure à l'aide de différents indices, soient l'indice de Shannon, l'indice de Simpson ou encore l'indice d'équitabilité. Elle se découpe également en différentes échelles spatiales et peut être mesurée au niveau local par l'indice alpha (nombre d'espèces à l'échelle d'un habitat), ou au niveau régional par l'indice gamma (diversité à l'échelle géographique). L'indice bêta, quant à lui, mesure la similarité entre habitats (ratio entre diversités locale et régionale). (Munoz et Kéfi, 2014)

Par ailleurs, la recherche sur les algues aborde actuellement une nouvelle approche en ciblant leur diversité fonctionnelle. Cette dernière est définie par Diaz et Cabido (2001) comme « la valeur et la gamme des traits fonctionnels des organismes influençant leur performance et le fonctionnement de l'écosystème » (Diaz et Cabido, 2001). Elle se mesure notamment par l'indice de richesse fonctionnelle correspondant au volume occupé par la communauté dans l'espace fonctionnelle (Cornwell *et al.*, 2006). Il est également possible d'utiliser d'autres indices tels que l'équitabilité, la dispersion, ou encore la divergence fonctionnelle. Quoi qu'il en soit, l'approche fonctionnelle peut être appréhendée à plusieurs échelles : locale (réponse aux perturbations), régionale ou globale.

La diversité fonctionnelle cible plus spécifiquement les traits fonctionnels, c'est-à-dire des caractères morphologiques, physiologiques ou phénologiques qui influencent la *fitness* via leur effet sur la croissance, la reproduction et la survie, soient les trois composantes de la performance des individus (Violle *et al.* 2007; Munoz et Kéfi, 2014).

C'est à partir de ces traits fonctionnels et par une approche hiérarchique qu'il est possible de déterminer la valeur sélective (ou *fitness*) (figure 2.3).

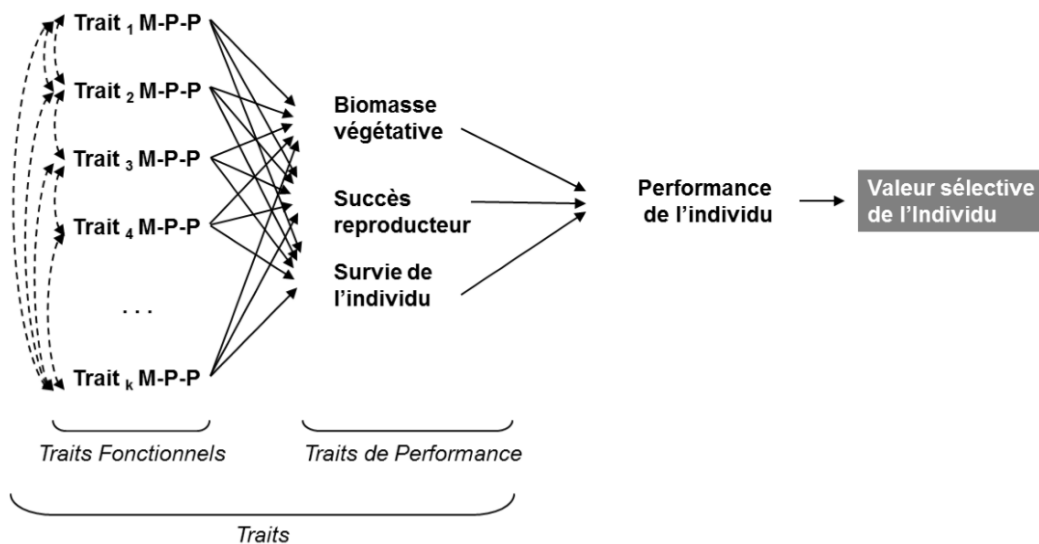


Figure 2.3 : Schéma de l'approche fonctionnelle hiérarchique (tiré de Violle *et al.*, 2007, p. 886)

Les traits fonctionnels considérés en phycologie sont de plusieurs ordres : morphologiques (ex. : taille et forme de l'algue), physiologiques (ex. : composition en pigments), comportementaux (ex. : dispersion, habitat) ou encore relatifs à l'histoire de vie (ex. : reproduction, cycle de vie) (Lange *et al.*, 2014).

Les classifications émergentes consistent à cribler les espèces sur un ensemble de traits (cycle de vie, morphologie, physiologie, etc.) et réaliser une analyse multivariée des patrons de corrélation entre ces traits. Il est alors possible d'établir des typologies fonctionnelles de facteurs ou traits et de dresser des groupes fonctionnels (Laugier *et al.*, 2011). Ces derniers sont définis comme le « regroupement non phylogénétique d'espèces qui fonctionnent de façon comparable dans un écosystème, sur la base d'attributs biologiques communs » (Gitay et Noble, 1997). Ces groupes sont caractérisés soit par la réponse des espèces à des facteurs du milieu (climat, perturbation, etc.), soit par leur contribution à un processus écosystémique ou effet (par exemple la modification de la disponibilité, de l'acquisition ou de l'utilisation d'une ressource pour une autre espèce).

Il est actuellement question de créer des bases de données des caractéristiques observées afin d'identifier les traits et fonctions principales pour un taxon donné. Cette approche a été développée en botanique avec la base de données TRY, référençant les traits des plantes (caractéristiques morphologiques, anatomiques, physiologiques, biochimiques ou encore phénologiques) (Kattge *et al.*, 2011). Cette base de données commune, rendant plus accessibles les données sur les traits des plantes,

représente un support pour l'émergence de l'étude de la biodiversité sous l'angle de l'écologie fonctionnelle.

Pour le domaine des algues, un projet similaire est en cours et vise à élaborer une base de données collaborative recensant les traits fonctionnels observés chez les macroalgues (Le Gall, 2015b). L'approche par traits fonctionnels souffre d'informations dispersées, difficilement accessibles et hétérogènes d'un point de vue sémantique. Ce projet a donc pour objectifs de rassembler les informations disponibles sur les algues en Europe sous un format uniforme et les rendre disponibles dans une base de données européenne. Les informations obtenues renvoient à des traits relatifs à la distribution, l'histoire de vie, la morpho-physiologie et l'habitat. La base de données sera disponible sur le Réseau européen de Données et d'Observations marines (EMODNet). La finalité est d'instaurer une ontologie unique dans l'étude de la diversité fonctionnelle des algues en Europe et ainsi, faciliter la coopération entre les travaux. (Robuchon *et al.*, s. d.)

2.3 Quels intérêts et perspectives d'intégration des données de science participative?

Actuellement, les données sur les algues apportées par la SC sont majoritairement des photographies de spécimens observés en plongée ou sur le littoral. Or l'identification spécifique d'une algue à partir de photographies ou d'observations est une tâche complexe qui requiert une grande expérience, voire qui est impossible pour de nombreux taxa. Il existe alors une multitude de photographies disponibles non identifiées et non utilisables, rendant l'apport des sciences participatives quasi nul dans le domaine de la recherche sur les algues. Il est donc primordial d'étudier par quels moyens et dans quelles mesures ces photographies pourraient être utilisées pour identifier le spécimen en question.

Par ailleurs, il est pertinent de développer d'autres formes d'interprétation de données comme alternatives à l'identification spécifique, lorsque cette dernière n'est possible, afin de rendre utilisable pour la recherche la quantité de photographies actuellement à disposition et à la portée du public pour les collectes à venir.

De plus, afin d'alimenter directement les axes de recherche présentés précédemment, il est possible d'élargir le type de données sur les algues provenant de SC en développant des programmes de suivi de sites, qui contribueraient à l'étude de la distribution de certaines espèces et de l'évolution dans le temps. Cela pourrait notamment être judicieux en ce qui concerne les espèces invasives (par exemple *Caulerpa* spp.) ou *a contrario*, les espèces endémiques en danger (par exemple *Cystoseira amentacea*). D'autres programmes innovants pourraient répondre à l'étude de la diversité fonctionnelle par le renseignement

de caractères visibles et mesurables par le public. Enfin dans un extrême plus poussé, des approches pertinentes pourraient être développées à des fins d'études taxonomiques et de phylogénie moléculaire (prélèvement de fragments ou de spécimens et envoi aux laboratoires de recherche).

Quoi qu'il en soit, l'utilisation de ces données est primordiale d'un point de vue social, puisqu'elle rend une légitimité scientifique et participe à la motivation des participants en leur proposant un retour sur leur observation. Dans une portée plus large, développer des démarches participatives sur les algues permet d'intéresser le public à des organismes souvent laissés de côté, de le sensibiliser sur les enjeux qui s'y rattachent et notamment l'informer de la place et de l'importance que représentent les algues dans les écosystèmes marins et pour les espèces associées.

3. RECENSEMENT ET ÉTAT DES LIEUX DE LA SCIENCE PARTICIPATIVE SUR LES ALGUES

Ce chapitre vise à recenser et dresser une analyse comparative des différents programmes de SC sur les algues ou autres objets d'études similaires et à mettre en évidence les outils, réseaux et dispositifs disponibles.

3.1 Objectifs et méthodologie de prospection

La prospection de programmes de SC portant sur les algues ou bien de programmes pouvant être source d'inspiration a pour finalité de dresser un état des lieux actuel de ce qui existe en la matière. À partir de cette base, il sera alors possible d'étudier les orientations qu'il convient de proposer pour promouvoir la récolte, l'utilisation et la valorisation des données sur les algues. Les objectifs sont de recenser les programmes de SC s'intéressant aux algues dans un premier temps, puis d'élargir aux projets similaires en matière d'utilisation de photographies et aux projets de SC plus novateurs pour l'acquisition d'autres types de données ou la mutualisation des missions. Cette phase est essentielle pour l'élaboration et la délimitation d'une démarche crédible, en adéquation avec l'apport actuel de la SC sur les algues, et adaptée aux domaines de recherche visés.

Pour ce qui est de la méthodologie adoptée, le recensement a été effectué à partir de livrets listant les programmes de SC en ciblant les algues, le domaine marin et la botanique, et complété par des recherches Internet. Enfin, lors de confrontation à un manque d'informations, les responsables de programme ont directement été contactés et interrogés.

Cet essai aspire à recenser tous les programmes de SC portant sur les algues à l'échelle nationale qu'ils soient actuels ou passés, ponctuels ou sur le long terme. De plus, à l'échelle internationale une liste de programmes s'intéressant aux algues est proposée, sans prétention d'exhaustivité. La prospection a également ciblé des programmes marins pouvant, par leur protocole, inclure la collecte de données sur les algues dans une perspective de mutualisation des efforts et d'élargissement des missions. Ensuite, des programmes de SC s'inscrivant dans d'autres domaines, par exemple la botanique, ont également été recensés lorsque leur considération était pertinente dans l'approche pour les algues, soit par les protocoles adoptés, soit par les outils et matériels utilisés. Enfin, la prospection a porté sur les outils à disposition pour enrichir et accompagner la collecte et l'utilisation des données et pouvant être mis à contribution pour les algues. Cette sélection alimente une base de données (Annexe 1) dont les renseignements reportés sont indiqués en partie suivante.

3.2 Analyse comparative des programmes d'intérêts

Cette section décrit la base de données réalisée, et notamment les composantes considérées, puis propose une analyse récapitulative des programmes de SC ainsi que des outils et moyens recensés.

3.2.1 Présentation

La base de données réalisée se découpe en deux domaines de prospection.

Le premier consiste au recensement des différents programmes de SC. Pour chaque projet retenu, figurent le nom, la/les structure(s) initiatrice(s), la/les personne(s) ressource(s), la localisation de la zone étudiée ainsi que le site Internet associé. Une courte description présente le contexte et la finalité du programme ainsi que les objectifs poursuivis.

L'origine de l'initiation est catégorisée afin de déterminer s'il s'agit d'un encadrement scientifique institutionnel, associatif ou encore privé.

Le public visé est renseigné selon la typologie suivante, inspirée de celle proposée par le SPN (Marchant *et al.*, 2013) : « tout public » (les promeneurs et internautes sont classés dans cette catégorie), « public captif » (usagers de l'espace (plongeurs, plaisanciers)) et « public expert » (participants possédant des compétences naturalistes approfondies).

Le type de programme est également exposé afin d'identifier rapidement les informations recherchées et les buts poursuivis (inventaire, base de données, signalement, suivi, etc.).

Une description des outils et moyens mis à disposition du public détaille l'accompagnement et le soutien scientifique proposés aux participants.

Le type de données obtenues est également précisé, à savoir qualitatif (présence, absence, etc.), quantitatif (abondance, dénombrement, etc.) ou encore annexe (photographies, vidéos). Pour les programmes incluant les algues, mais possédant une prospection plus large, seul le type des données collectées en lien avec les algues est renseigné.

La catégorie valorisation et/ou l'utilisation des données s'intéresse à l'exploitation ultérieure des données dans la sphère scientifique, dans quelle mesure et par quelles structures elles sont valorisées.

Enfin, l'animation et les moyens de communication mis en place sont précisés, c'est-à-dire les moyens mis en œuvre pour accompagner les participants, et la structure en charge de cette tâche, lorsqu'elle est différente de la structure initiatrice.

La seconde partie de l'état des lieux consiste en l'interprétation des programmes et outils recensés dans le cadre de l'essai. C'est pourquoi, pour chaque projet, les points forts et faibles ont été mis en évidence.

Il est en effet important de prendre connaissance des avantages et inconvénients des différents programmes de SC pour formuler des propositions réalistes, efficaces (en termes de participation du public et de traitement des données) et inspirées du tissu de SC existant.

Enfin, des commentaires sont émis en tant qu'aide à la réflexion pour le développement et la valorisation des données « algues » afin d'assurer l'efficacité, la pertinence et la valeur ajoutée subséquentes de la démarche. Il s'agit également d'identifier les possibilités de collaboration avec les autres programmes afin de regrouper les efforts pour une démarche efficace et complémentaire.

La synthèse de ce recensement est présentée en tableaux 3.1, 3.2, 3.3, et 3.4.

Un second tableau détaille, quant à lui, les réseaux, dispositifs et outils mis à disposition de la SC ou pouvant être utilisés par les scientifiques pour la valorisation des données citoyennes en France.

Chaque outil et moyen est présenté comme suit : le nom et l'acronyme, la structure porteuse de projet, la ou les personne(s) ressource(s), une brève description et les objectifs associés; les différentes fonctionnalités ou composantes de l'outil; le type de données utilisées et adaptables à l'outil ou récoltées par le réseau; et l'utilisation et la valorisation scientifique de ces dernières.

Enfin, une section dédiée aux commentaires permet d'identifier rapidement les informations à retenir dans le cadre de cet essai.

La synthèse des réseaux et outils recensée est visible en tableau 3.5.

Tableau 3.1 : Récapitulatif des programmes de SC français sur les algues

Nom et acronyme	Description	Plus-value sociale	Plus-value scientifique
Programmes de SC portant sur / incluant les algues			
Français			
Biodiversité du Littoral (BioLit) : Algues et Bigorneaux	Observation des écosystèmes à algues brunes et identification des espèces d'algues ciblées ainsi que des espèces de bigorneaux associées	Sensibilisation sur la problématique des algues brunes Supports d'aide à l'identification des 6 algues brunes Découverte par galerie de photographies	Écosystèmes à algues brunes Transfert INPN Diffusion des premiers résultats Carte de répartition
BioLit : Les nouveaux arrivants	Réseau de surveillance et d'alerte éco-citoyen par le signalement et le suivi des espèces non indigènes (ENI) marines	Sensibilisation sur les ENI	Détection, surveillance et suivi des ENI
Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la Faune et de la Flore subaquatiques (DORIS)	Plateforme de dépôt et de partage de photographies et de fiches illustrées d'identification d'espèces fauniques et floristiques marines et d'eau douce	Identification collaborative Approfondissement des connaissances taxonomistes sur les algues Interaction entre participants	En lien avec la Base pour l'Inventaire des Observations subaquatiques (BioObs) Validation par le MNHN et transfert à l'INPN
Veille biologique sur les récifs de Prado	Recensement des espèces et suivi de la colonisation d'une partie de récifs artificiels construits dans le cadre d'un projet de gestion de ressources halieutiques, en complément des suivis opérés par les scientifiques	Véritable protocole d'inventaire et de veille biologique, mais sélection des participants sur leurs compétences naturalistes Supports d'aide à l'identification et fiches d'observation	Complémentarité des relevés scientifiques pour une veille biologique plus complète Possible de détection et d'alerte d'anomalies
AlgoBox (dans le cadre du projet Littoralg)	Système expérimental de protection du pied de dune associé à projet de recherche Littoralg sur la dynamique d'échouage des macroalgues, les écosystèmes liés à cette biomasse et les innovations pour valoriser les macroalgues en Bretagne Sud	Implication dans la protection du littoral par l'observation des échouages algaux Encadrement scientifique et protocole défini	Suivi des algues échouées Utilisation des données pour un projet de protection des dunes
Sentinelles Pyrénées-Méditerranée (PM)	Observation de la biodiversité à partir des espèces communes et réseau de surveillance	Inventaire du benthos avec protocole défini et fiches d'aide à l'identification Implication des plongeurs dans de véritables missions scientifiques	Alimentation de BioObs Veille biologique à l'échelle du territoire Sollicitation pour des projets scientifiques

Tableau 3.1 : Récapitulatif des programmes de SC français sur les algues (suite)

Nom et acronyme	Description	Plus-value sociale	Plus-value scientifique
Programmes de SC portant sur / incluant les algues			
Français			
Relevé d'espèces dans le port du Havre	Inventaire faune et flore dans le but de poursuivre le travail scientifique de connaissance du milieu biologique portuaire tout en préservant un volet de médiation auprès du public	Inventaire des espèces à partir d'un protocole Encadrement scientifique	Implication dans la Cellule de suivi du littoral normand Études et projets locaux, veille biologique
Inventaire de la flore et de la faune sous-marines de l'archipel de Chausey	Mission d'inventaire pour le programme Habitats, Espèces et Interactions marines (HEIMa) porté par le Conservatoire du Littoral et le Syndicat mixte des Espaces littoraux de la Manche	Réalisation d'inventaires (uniquement par public avec compétences naturalistes) Retour par fiches de synthèse pour chaque plongée	Distribution des espèces (suivi comparatif) Contribution au projet HEIMa
Cybelle Méditerranée : Oursins et algues	Observatoire de la biodiversité marine en Méditerranée par suivi à long terme et à grande échelle l'abondance d'espèces indicatrices de l'état de santé de la biodiversité	Observation des oursins et des peuplements algaux à partir de protocoles et fiches de relevé Retour par bilans annuels	Alimentation d'une base de données Développement d'indicateurs de qualité du milieu Macroécologie et analyses statistiques
Les herbonautes	Report informatique de données inscrites sur les étiquettes des planches d'herbier scannées Différentes missions thématiques par famille ou lieu géographique dont certaines portant sur les algues	Découverte des spécimens d'herbiers et aide au report d'informations Différentes missions proposées selon l'intérêt du public Ascension à différents niveaux de compétences Implication tout public	Création base de données Alimentation de bases de données (INPN, <i>Global Biodiversity Information Facility</i> (GBIF), etc.)
MedObs-Sub	Observatoire citoyen pour la participation du public à une veille biologique du milieu marin méditerranéen	Sensibilisation et implication autour des espèces invasives et des paysages sous-marins	Analyse par laboratoire d'océanologie Études sur la biodiversité, l'indice paysager, et les espèces exotiques
CIGESMED	Développement d'indicateurs basés sur le coralligène pour évaluer et surveiller le bon état écologique des eaux côtières méditerranéennes par l'étude d'habitats des algues encroûtantes calcaires, le coralligène.	Sensibilisation et implication dans un réel projet scientifique sur les écosystèmes à coralligène Large public grâce au multilinguisme du projet Approche directe avec clubs de plongée et associations	Alimentation de travaux sur le coralligène Surveillance et gestion de phénomènes tels que l'efflorescence de maladies

Tableau 3.2 : Récapitulatif des programmes de SC internationaux sur les algues

Nom et acronyme	Description	Plus-value sociale	Plus-value scientifique
Programmes de SC portant sur / incluant les algues			
Internationaux			
Big seaweed search	Recensement et localisation d'algues sur les littoraux de Grande-Bretagne afin de déterminer leur distribution et l'évolution au cours du temps	Inventaire ciblé des algues observées Retour par carte des observations en ligne	Alimentation des travaux de recherche sur l'impact du changement climatique et des espèces invasives Transfert au <i>national Biodiversity Network (NBN)</i>
Floating Forest	Programme de détection de forêt de <i>kelp</i> sur images satellites	Implication d'internautes autour des forêts de <i>kelp</i> (tout public) Sensibilisation sur cet écosystème Découverte des images satellites et de leurs applications	Alimentation de travaux sur l'étude du recouvrement des forêts de <i>kelp</i> et son évolution face au changement global
BeachExplorer	Programme d'observation des plages et de recensement des espèces présentes	Inventaire d'espèces sur le littoral Clé de détermination en ligne et application <i>Smartphone</i> Approfondissement des connaissances naturalistes et taxonomiques Implication des scolaires	Alimentation d'une base de données Prise en compte pour les travaux de conservation des zones marines
Explore the Sea floor	Implication du public dans l'identification de <i>kelp</i> et d'oursins à partir de photographies	Identification et marquage graphique des espèces Composante ludique et gain à la clé Découverte par galerie de photographie	Localisation et profondeur des forêts de <i>kelp</i> Utilisation des données pour l'étude de l'impact du changement climatique sur les écosystèmes à <i>kelp</i>
The Shore Thing	Recensement des espèces marines intertidales dans le cadre du programme « <i>UK's Marine Biodiversity and Climate Change</i> »	Inventaire selon méthode scientifique Découverte, formation aux protocoles scientifiques et encadrement Déclinaison pour l'enseignement secondaire	Alimentation de bases de données dont le <i>marine Life Information Network</i>
Seasearch	Programme de collecte d'informations sur les habitats du fond marin et la vie marine associée	Protocole d'inventaire décliné en trois niveaux Supports d'accompagnement et encadrement scientifique Diffusion de comptes-rendus pour chaque site et bilans annuels	Alimentation du NBN et d'une base de données pour le <i>Joint Nature Conservation Committee</i> et les agences gouvernementales de conservation Considération pour les Aires marines protégées (AMP) et la protection des espèces prioritaires
Réseau de Suivi de la Biodiversité aquatique (RBSA)	Réseau de recensement des espèces observées en milieu aquatique	Inventaire d'espèces Supports d'aide à l'identification et retour par carte interactive des observations Sensibilisation sur les espèces invasives	Carte de répartition des espèces surveillance des espèces invasives
Nature Watch New-Zealand : intertidal zone	Recensement des organismes (animaux et algues) des zones intertidales. Programme appartenant au réseau international <i>iNaturalist</i>	Inventaire spécifique et découverte de la biodiversité des zones intertidales Supports d'accompagnement, supervision par curateurs et retour par carte interactive des observations	Complément de données pour différents projets scientifiques « <i>Mariners</i> », « <i>Beachcombers</i> » et « <i>Coastal</i> » Alimentation du <i>New-Zealand Organisms Register</i>

Tableau 3.3 : Récapitulatif des programmes de SC marins pouvant intégrer un volet sur les algues

Nom et acronyme	Description	Plus-value sociale	Plus-value scientifique
Autres programmes de SC marins pouvant développer un volet "algues"			
Reef Check	Programme international d'éducation à l'environnement récifal subdivisé à des échelles locales	Implication et sensibilisation sur les récifs coralliens Retour par carte interactive Aspect ludique	Enrichissement du réseau <i>Global Coral Reef Monitoring Network</i> (GCRMN) Suivi de l'état écologique des récifs coralliens Bilans internationaux et publications
Voyages bio sous-marine	Programme d'éducation à la démarche scientifique par le biais de voyages organisés et alimentant d'autres projets de science participative (ex. : <i>Fish Watch</i> Mer Rouge)	Implication dans une diversité de projets possibles Découverte par galerie de photographies Formation et encadrement par scientifique	Thématique de projet en relation directe avec les travaux de recherche Publications possibles
Reef	Programme de surveillance de l'environnement marin à travers différents projets (« <i>Fish project Survey</i> », « <i>Grouper Moon project</i> », etc.) visant l'implication de plongeurs en apnée	Implication sous forme de voyages organisés et événements dédiés Inventaire ciblé et sensibilisation aux espèces invasives Découverte par galerie de photographies	Intégration dans projets de suivi et surveillance d'espèces invasives Publications Alimentation de bases de données
Carnet d'espèces des Calanques et de l'archipel de Riou	Contribution volontaire des plongeurs pour l'inventaire faunistique des Calanques et de l'Archipel de Riou en parallèle à la création du parc naturel des Calanques	Inventaire faunistique ciblé Support d'accompagnement	Intégration dans des travaux de cartographie des biocénoses Rattachement à un projet de création d'un parc naturel marin
Sea floor	Programme d'identification de la faune et des substrats visibles sur des images sous-marines en provenance de l'étage continental du nord-est des États-Unis	Inventaire et identification sur photographies Découverte des fonds marins côtiers Tout public	Lien direct avec un programme scientifique Création d'une base de données d'habitats et d'espèces faunistiques Étude sur la répartition des espèces et l'expansion des espèces invasives
Cousteau divers	Observation de la biodiversité marine et de l'état de santé des mers et océans	Implication du public par des inventaires dans le cadre de projets d'AMP Retour par carte des observations	Aide à la mise en place d'AMP Utilisation pour l'apport de solutions aux gestionnaires locaux Cartographie
Eye on the Reef	Programme de surveillance de la Grande Barrière de Corail pour un suivi sur le long terme et la mise en place de mesures de gestion et de protection	Inventaire faunistique décliné en 4 niveaux Système de gestion et de report de données Application <i>Smartphone</i> pour le report d'informations Carte interactive des observations	Suivi de l'état de santé des récifs et des tendances Étude de la distribution des espèces protégées ou emblématiques Mise en place de mesures contre les menaces Transmission des données et résultats aux gestionnaires du parc naturel marin

Tableau 3.4 : Récapitulatif des programmes de SC ou d'implication citoyenne portant sur d'autres domaines d'intérêts

Nom et acronyme	Description	Plus-value sociale	Plus-value scientifique
Autres programmes de SC ou d'implication citoyenne			
Botanique			
Flora Data	Observatoire participatif de la flore	Appartenance à une communauté épistémique Approfondissement des connaissances taxonomiques Découverte par PictoFlora (galerie de photographies) Nombreux outils à disposition (clé de détermination, carnet en ligne, flores numérisées, etc.)	Intégration dans eFlore Utilisation des données pour des projets de recherche ou des inventaires officiels
Vigie-Flore	Programme de suivi de l'abondance des espèces végétales les plus communes en France pour l'amélioration des connaissances sur l'impact des activités humaines et des changements globaux sur la flore métropolitaine	Inventaire selon un protocole strict Découverte des méthodes de relevés scientifiques Supports d'accompagnements Retour sous forme de bilans annuels et carte des taxons	Carte des taxons Analyses scientifiques (corrélation entre diversités taxonomique, fonctionnelle et phylogénétique au sein des communautés végétales; suivi) Publications
Sauvages de ma rue	Observatoire de la biodiversité des plantes communes appartenant à Vigie-Nature	Implication des citoyens par l'observation de la flore commune de proximité et sensibilisation à cette biodiversité Protocole et supports d'accompagnement Application <i>Smartphone</i> Retour par carte des observations	Intégration aux bases de données du MNHN et de Tela Botanica Étude de la répartition des espèces en ville et de l'impact de l'urbanisation sur la qualité de la biodiversité Diffusion possible aux collectivités
La flore genevoise en codes-barres	Projet de recherche citoyen sur les plantes du bassin genevois consistant à faire participer le public de la collecte jusqu'au séquençage de l'ADN des spécimens récoltés	Découverte et apprentissage du citoyen à la démarche scientifique, du terrain au laboratoire Encadrement scientifique tout au long du processus	Intégration des données dans une banque ADN de référence gérée par le Conservatoire et Jardin Botaniques et la banque de données internationale <i>Barcode of Life Database</i>
Dispositif alerte et surveillance			
Carte de pollution Surfrider	Carte participative des pollutions à l'échelle de l'antenne Côte Basque	Implication dans le signalement des pollutions et la surveillance de l'état écologique des cours d'eau et océan Retour par carte de localisation des pollutions et description	Contact et avertissement aux responsables, voire déploiement d'autres actions pour rétablir l'état du site pollué

Tableau 3.5 : Récapitulatif des réseaux et outils à disposition

Nom et Acronyme	Description	Plus-value sociale	Plus-value scientifique
Réseaux et dispositifs			
Réseau d'Observateurs en Plongée (ROP)	Portail de SC recensant les différentes initiatives pour la plongée	Accès rapide aux initiatives de SC dans le domaine marin	N.-A.
20000 yeux sous les mers	Projet de coordination et de mise en réseau des observateurs subaquatiques décliné à différentes façades littorales	Identification des espèces cibles	Base de données
Vigie-Alerte	Dispositif de signalement d'espèces particulières (non-indigènes, invasives, inconnues, intrigantes)	Observation et sensibilisation aux espèces recherchées	Surveillance des espèces exotiques Système d'alerte pouvant accélérer les interventions le cas échéant
Vigie-Mer	Réseau de SC sur le littoral, en plongée et sur l'eau Composante du projet « 65 millions d'observateurs », visant à structurer les sciences participatives	Meilleure visibilité des programmes de SC pour le domaine marin Création de nombreux outils d'accompagnement Applications <i>Smartphone</i>	Interaction avec gestionnaires d'AMP, amélioration de la visibilité des AMP et des projets de SC Partenariats pour projets innovants (ex. macro-déchets) Mise en relation des programmes terre/mer/air de Vigie-Nature
CitSci	Organisme de soutien pour le lancement de programmes de SC	Structure de soutien pour la création d'initiatives personnelles	N.-A.
CiSStats	Réseau rassemblant des statisticiens appliqués, des écologues modélisateurs et des associations souhaitant développer des méthodes statistiques pour mieux valoriser les jeux de données actuels et futurs issues des sciences participatives	N.-A.	Amélioration de l'utilisation et de la valorisation des données de SC par approche statistique
Sentinelles bleues	Réseau de plongeurs de la Fédération française d'Études et Sports sous-marins (FFESSM) pour l'observation, la veille, et l'alerte sur le milieu marin mobilisable par les scientifiques	Réseau accessible aux plongeurs et facilitant la diffusion de l'information et la liaison avec le milieu scientifique	Sollicitation du réseau pour des projets spécifiques
Outils			
Card'Obs	Outil de saisie en ligne de données d'observations sur la faune et la flore pour leur bancarisation et valorisation	Retour des observations par carte interactive Accès au référentiel TAXREF et aux bases de données de références bibliographiques de l'INPN	Alimentation de l'INPN Étude de répartition, analyses statistiques, etc.
Coral Reef Monitoring (CoReMo)	Logiciel de suivi de l'état de santé des récifs coralliens et des peuplements benthiques et ichtyologiques associés	Accès à un outil performant pour la conservation des données d'observation Sensibilisation sur les cibles biologiques et facteurs de stress	Alimentation bases de données mondiales comme le GCRMN, FISH BASE, etc. Analyses effective et évolutive

Tableau 3.5 : Récapitulatif des réseaux et outils à disposition (suite)

Nom et Acronyme	Description	Plus-value sociale	Plus-value scientifique
Outils			
Base pour l'Inventaire des Observations subaquatiques (BioObs)	Base de données d'observations permettant d'identifier les espèces rencontrées et leur aire de répartition et de participer à un inventaire des espèces.	Supports d'accompagnement (création de relevés et carnet de plongée) Application <i>Smartphone</i> Retour par carte des observations Liaison avec le programme DORIS Plateforme de partage éducative	Transmission des informations au MNHN Alimentation de l'INPN Étude sur l'aire de répartition des espèces
MedMIS	Système d'information en ligne (guide et plateforme) des observations pour la surveillance des ENI dans les AMP méditerranéennes	Approfondissement des connaissances Sensibilisation sur les espèces invasives	Utilisation dans le projet MedPAN Alerte et soutien auprès des gestionnaires d'AMP des observations effectuées
iRecords	Plateforme de partage des observations	Outil de partage et de gestion des observations Retour par carte des observations	Étude aire de répartition Alimentation du NBN
iSpot	Application <i>Smartphone</i> pour la collecte de données d'observation	Outil de reconnaissance automatique Apprentissage participatif Communauté d' <i>iSpotters</i>	Publications
Pl@ntNet	Outil d'aide à l'identification de plantes à partir de photographies en comparaison avec une base de données	Ensemble d'outils à disposition pour accompagner le participant ou identifier les espèces (logiciels, application <i>Smartphone</i> , carnet en ligne, gestion des données botaniques)	Création de bases de données collaboratives Modélisations des distributions d'espèces Alimentation d'études de cas
ID ocean life	Identification d'espèces animales marines par clés de détermination basées sur les caractéristiques morphologiques distinctives	Accès à un outil pour la détermination d'espèces Liaison avec galerie de photographies Skaphandrus	Aucune, si ce n'est l'amélioration et le développement du logiciel à d'autres taxons
Xper²	Plate-forme dédiée à la description taxonomique et à l'identification assistée par ordinateur	Accompagnement pour l'édition de descriptions et bases de données taxonomiques normalisées	Analyses (diagnose, différences morphologiques, etc.) Mise à disposition de données interoperables et normalisées
IDAO	Logiciel d'identification graphique assisté par ordinateur Composante de Plant@net	Outil pour identifier les espèces observées Accessibilité au public ne possédant pas de compétences naturalistes ou botaniques Fort aspect de pédagogie et de vulgarisation scientifique	Diverses applications (adventices du riz et autres cultures, espèces ligneuses, etc.)
eFlore	Système rassemblant les différentes informations botaniques mises en commun dans le réseau	Accès à des bases de données et référentiels nationaux Supports d'accompagnement (fiches d'espèces, listes de taxons par département, etc.)	Création de bases de données collaboratives Outil considéré comme un référentiel botanique national

3.2.2 Résumé

Au total, 32 programmes et 18 réseaux et outils ont été considérés pour réaliser l'état des lieux relatif au développement de la collecte et à la valorisation de données « algues » en SC. Ce recensement permet de mettre en lumière certains points importants à prendre en considération dans le cadre de l'essai.

Tout d'abord, 20 programmes relevés (français et étrangers confondus) intègrent les algues dans la collecte de leurs données à un niveau d'intérêt plus ou moins prononcé. Il n'y a aucun programme français exclusivement dédié aux algues. Ces dernières peuvent être au cœur du programme comme pour « BioLit » (même si les observations ne concernent qu'une sélection restreinte d'algues), être incluses dans un ensemble de prospection plus large (Veille biologique mise en place à Prado ou Chausey), ou encore être considérées comme une composante du milieu à renseigner pour compléter les données sur l'habitat d'espèces animales (« Oursins et Algues » de Cybelle Méditerranée) sans qu'elles ne fassent l'objet d'études ultérieures. À l'échelle internationale, davantage de programmes sont dédiés aux algues, exclusivement ou en partie. « *Big Seaweed Search* » est un bel exemple de programme participatif populaire et plaisant, portant uniquement sur les algues. De même, des programmes tels que « *The Shore Thing* » ou « *Nature Watch New-Zealand intertidal zone* » font, entre autres, la part belle aux algues au niveau du littoral et démontrent qu'il y a un réel engouement du public.

En ce qui concerne le public impliqué, une grande partie des programmes visent les plongeurs en scaphandre autonome ou en apnée (public captif) puisqu'ils portent sur des observations sous-marines. Cependant, d'autres s'adressent à des usagers du plan d'eau (public captif) ou encore des promeneurs (tout public) pour les inventaires ou le signalement sur le littoral et la zone intertidale.

Les programmes demandant une participation *via* Internet (« Les herbonautes », « *Floating Forest* », « *Sea Floor Explorer* ») s'adressent à tout public.

Quant au public expert, il est impliqué dans des programmes demandant de solides compétences naturalistes, c'est-à-dire les inventaires directement en lien avec les laboratoires de recherche (tels que ceux de Chausey et Prado), dans des programmes nécessitant l'identification des espèces observées (DORIS, « *Big Seaweed Search* ») ou encore en soutien et accompagnement lorsque les participants rencontrent des difficultés (« Les herbonautes »).

Pour ce qui a trait aux structures initiatrices, le MNHN et l'Agence des Aires marines protégées (AAMP) représentent en France les principaux instigateurs de projets, auxquels s'ajoutent des laboratoires de

recherche, tandis que la FFESSM pilote de nombreux programmes d'initiation associative ou constitue un relais des programmes scientifiques auprès du public.

En France, les types de programmes relatifs aux algues consistent majoritairement en des inventaires (présence, abondance) avec des listes d'espèces prédéfinies et au dépôt de photographies en ligne.

La valorisation et l'utilisation des données, figurent davantage dans les programmes d'initiation scientifique et aboutissent souvent à l'intégration des données dans des bases de données, mais encore peu d'entre eux alimentent des publications scientifiques. En effet, seules les données issues de « *Reef Check* » et « *Reef* », parmi les programmes recensés dans le domaine marin, ont fait l'objet d'articles scientifiques (Micheli *et al*, 2012; Semmens *et al.*, 2004). Aucune publication équivalente n'a vu le jour pour ce qui a trait aux données sur les algues (utilisées exclusivement pour des bilans annuels vulgarisés ou des rapports de missions).

En ce qui concerne les moyens disponibles pour améliorer les sciences participatives, des réseaux de structuration ont été recensés (ROP, Sentinelles bleues) et dont le but est de regrouper, encadrer et améliorer la productivité et l'alimentation de données SC dans le domaine marin.

Par ailleurs, de nouveaux dispositifs ont récemment émergé. Le projet « 20 000 yeux sous les mers » a été lancé en 2010 et est porteur de quelques programmes recevant une forte popularité à l'image de « RHIZOMA », tandis que le MNHN lance, avec le projet « 65 millions d'observateurs », le dispositif Vigie-Mer dont la création et les objectifs associés seront une ressource de poids pour le développement et la structuration de toute initiative en milieu marin, notamment en terme d'élaboration d'outils pédagogiques spécifiques.

Le réseau Vigie-Alerte intégré au ROP est également un dispositif pour le signalement d'espèces rares, non-indigènes ou intrigantes. Il peut être élargi à d'autres objets d'observation et s'implanter comme un véritable réseau de surveillance.

La communauté CitSci, quant à elle, s'adresse directement aux particuliers souhaitant lancer leur propre programme de SC et intervient pour soutenir et conseiller dans la création et la mise en place du projet.

D'un point de vue purement scientifique, le réseau CiSStats est pertinent dans le sens où il vise l'amélioration de l'utilisation des données de SC par le développement de méthodes et d'algorithmes statistiques pour contrer les difficultés et les erreurs potentielles dans l'exploitation de données issues d'horizons très différents, et originaires d'un public varié en terme de compétences et précisions.

Pour ce qui a trait aux outils à disposition, de nombreuses bases de données intermédiaires permettent l'entrée de données et la standardisation de ces dernières pour leur intégration aux banques de données telles que l'INPN ou le GBIF. Il s'agit notamment de Card'Obs et de BioObs.

Les plateformes de partage d'observations (photographiques ou données numériques) telles que *iRecords* permettent également la diffusion des données entre les participants et favorisent l'échange et la communication, débouchant éventuellement au sentiment d'appartenance à une communauté.

En parallèle, des logiciels sont destinés à l'accompagnement dans la collecte et le référencement des données d'observation (ex. : *iSpot*). D'autres logiciels plus poussés de suivi du milieu marin, à l'image de CoRemo3 ou MedMIs, sont également disponibles pour les professionnels et gestionnaires de ces milieux, tout comme Xper² pour la botanique.

Des outils de détermination automatique par l'observation de caractères morphologiques et sélection de critères successifs *via* des clés de détermination existent en botanique (Plant@net), mais également pour certains groupes fauniques marins (*ID ocean life*).

D'autres outils dédiés aux plantes sont disponibles pour l'aide à la détermination des spécimens observés par comparaison graphique ou photographique (comme eFlore) et peuvent être très vulgarisés pour permettre au public de SC sans grandes compétences naturalistes de s'affranchir de la technicité ou du vocabulaire scientifique (IDAO).

Ainsi, et dans les objectifs de cet essai, il est important de remarquer qu'il existe des outils pour la détermination taxonomique et l'identification spécifique à partir de photographies et d'observations (application *Smartphone*, clé de détermination automatique, etc.) pour les animaux et végétaux.

3.3 Bilan mettant en exergue les leviers et freins dans les démarches de science participatives

Pour chaque programme, une évaluation a été réalisée pour identifier leurs points forts et faibles (Annexe 1). Ils sont repris de manière générale ci-dessous.

3.3.1 Leviers mis en évidence par les points forts des programmes de science participative

Les principaux leviers qui marquent la réussite des programmes de SC sont l'animation et la communication autour du projet. Il s'agit là de conditions indispensables à la participation du public. La stratégie peut être pilotée à l'échelle nationale, mais des relais locaux (animateurs) assurent une meilleure coordination des programmes et une proximité pour les participants.

Le succès des programmes est également dépendant de leur visibilité à l'échelle nationale (référencement dans les réseaux (ROP et NatureFrance)), à l'échelle locale, mais également dans le domaine universitaire.

Pour ce qui est du public visé, il est certes intéressant d'impliquer des participants experts pour faciliter la mise en place des protocoles, la collecte de données et diminuer le risque d'erreur, mais lorsqu'un programme s'adresse au grand public, le nombre de participants étant plus important, il peut alors bénéficier d'une popularité et d'une visibilité plus marquées.

Le retour aux contributeurs est une composante de l'animation qui tend à favoriser la fidélité du participant, l'encourager et alimenter sa motivation. Il peut s'agir d'un report des observations sur une plateforme ou une carte interactive, tout comme la diffusion des résultats ou de bilans réguliers.

L'accompagnement et le matériel mis en place pour les participants sont aussi cruciaux dans l'efficacité de la participation. Les protocoles doivent être clairs pour les participants, et les programmes proposant une gamme de méthodologies en fonction des compétences des contributeurs sont plus susceptibles de mobiliser un public diversifié. Lorsqu'une partie du programme doit se faire en ligne (transmission des données, identification d'espèces), il est primordial pour la structure de proposer un site Internet attractif, compréhensible et intuitif, voire de développer des plateformes collaboratives pour le dépôt de photographies ou la rédaction de fiches collectives (site *web 2.0* collaboratif, *Scratch pads*, etc.).

La diversité et la qualité des outils d'accompagnement, leur accessibilité et leur adaptation aux différents niveaux de compétences sont également des paramètres importants pour soutenir les participants et faciliter une intervention efficace tout en limitant les erreurs possibles.

Les projets s'ouvrant à des niveaux multiples, et dans les cas les plus pédagogiques, amenant le public à valider des compétences par le passage à un niveau supérieur (test, quizz), sont souvent très attractifs et optimisent la progression des participants, leur apportant à la fois fierté, autosatisfaction et reconnaissance de leur implication.

De nombreux programmes mettent à la disposition des participants des forums ou espaces de discussion. Cette composante rend indéniablement les projets plus interactifs et dynamiques, en donnant l'impression aux participants d'appartenir à une communauté, en permettant l'interaction avec des experts et en facilitant le partage et la diffusion des informations.

La vérification des données, qu'elle soit exercée par un spécialiste, issue de stratégies algorithmiques ou de leur traçabilité (photographies, localisation), donne davantage de rigueur et de justesse aux données collectées pour envisager leur exploitation ultérieure.

Le type de données peut également être essentiel dans la réussite d'un programme. Les photographies permettent de multiples vérifications ultérieures et représentent une trace de la donnée, tandis que la géolocalisation permet de retrouver le spécimen observé (pour les espèces fixées) ou encore apporte des renseignements sur la répartition des espèces (rares, invasives, etc.). Les données répondant à un format interopérable avec les bases de données telles que l'INPN ou le GBIF sont plus susceptibles d'être bancarisées, exploitées et valorisées.

Enfin, la valorisation et l'utilisation des données sont davantage assurées lorsqu'un cadre scientifique est posé autour du programme. Les données issues d'initiatives associatives sont plus difficilement exploitables ce qui montre la nécessité d'un cadre scientifique dans un but d'exploitation ultérieure des données, et l'intérêt de structurer dès le départ la collecte des données.

3.3.2 Freins mis en évidence par les points faibles des programmes de science participative

La visibilité de certaines initiatives est restreinte du fait notamment, qu'elles ne soient pas répertoriées dans les listes de NatureFrance ou du ROP, ou qu'elles présentent des lacunes en termes de communication et d'animation.

Certains programmes ne présentent pas clairement la personne ressource contacter, ce qui peut faire défaut pour une demande de renseignements d'un intéressé, lorsque les participants ont des questions et commentaires à adresser, ou lorsque des professionnels externes souhaitent un accès aux données ou solliciter le groupe pour une mission particulière.

La gamme de public susceptible d'être impliquée dans les programmes portant sur les algues est plus réduite que celle relative aux projets terrestres, car les participants les plus à même de reporter des observations sous-marines sont les plongeurs, ce qui représente tout de même une communauté restreinte (144 357 licenciés en 2014 (FFESSM, s. d.)). Il est évident que les observations du littoral peuvent mobiliser un plus grand public, mais elles restent moins diversifiées que celles réalisées en plongée.

De plus, lorsque les compétences requises s'élèvent à un haut niveau, le nombre de participants pouvant être impliqué dans le programme est subséquentement limité.

Par ailleurs, le devenir des données n'est pas toujours explicité et il n'est pas toujours évident de savoir quelles sont l'utilisation et la valorisation concrètes des données, ni quelles communautés ont accès aux données et aux résultats.

Beaucoup de programmes sont dépendant de l'expertise des scientifiques associés (vérification et correction des données, questions des participants, etc.), ce qui demande une grande disponibilité et implication de ces derniers, *en sus* de leurs travaux de recherche. Or, il est souvent constaté un manque de spécialistes pour la vérification des données, l'identification des photographies sur des groupes difficiles (tels que les algues), ou encore de personnes qualifiées pour, au-delà de la collecte de données sur le terrain, rédiger des fiches d'espèces ou gérer les données sur les interfaces.

De fait, un constat important est le nombre non négligeable de photographies d'algues, notamment sur DORIS, dont les spécimens ne sont pas identifiés ce qui met en évidence le frein que représente la limite de détermination taxonomique sur image et les difficultés d'identifier les algues sur critères morpho-anatomiques.

3.4 Explicitation des enjeux

L'analyse de la base de données permet d'identifier des enjeux généraux relatifs aux modalités, exigences et perspectives globales, mais également des enjeux plus spécifiques, associés à chaque étape de la mise en œuvre d'un programme de SC dédié aux algues, depuis la création d'un projet de SC jusqu'à l'utilisation et la valorisation des données collectées, en passant par l'élaboration du protocole et la mise en œuvre du programme.

3.4.1 Enjeux globaux

De manière globale, la SC est marquée par la place prépondérante du MNHN, mais également, pour ce qui a trait au domaine marin, de l'AAMP et des organismes sportifs (FFESSM). Il est important que ces différentes structures collaborent et soient impliquées de manière complémentaire dans les propositions qui sont faites, tant pour le lancement des programmes que pour l'exploitation des données collectées.

La volonté émergente de structuration des démarches participatives est également essentielle et les travaux en ce sens du ROP (par l'AAMP), de NatureFrance (ONB), du SNP (pour l'éligibilité des programmes à la bancarisation des données dans l'INPN) ou encore du MNHN (restructuration et développement de nouveaux dispositifs) sont importants à considérer même s'ils n'en sont qu'à leurs prémices.

La communication et l'animation autour du programme sont essentielles pour favoriser leur visibilité, leur portée et la compréhension du public. Une composante importante dans l'animation est le retour des informations aux participants (carte d'observations, plateformes de photographies, bilans, diffusion des résultats, etc.) car, aux yeux des contributeurs, il justifie leur implication et représente une forme de reconnaissance qui les motive à poursuivre leurs actions. De même, les stratégies de fidélisation du public l'encouragent à persévérer, voire à approfondir, son investissement.

L'existence de relais locaux est une caractéristique fréquemment perçue dans les programmes de SC en plongée, et souvent portée par les clubs de plongée. Certes, cette stratégie demande une coordination plus complexe, mais elle représente une option favorisant la proximité, l'échange direct avec les participants ainsi que l'adoption d'une organisation propre et adaptée. Il n'en est pas moins qu'elles suivent un cadre structuré à l'échelle nationale et les résultats restent de grande emprise spatiale par regroupement des données locales.

En France, aucun programme n'est exclusivement dédié aux algues, alors que c'est l'un des pays où la diversité algale est la plus importante, et ceux qui les intègrent dans une sélection plus large se confrontent à la difficulté d'exploiter les données. Il y a donc, d'une part, une opportunité à lancer des programmes sur les algues qui ne seront pas en concurrence avec d'autres projets et pourraient arborer les statuts d'« original » et « inédit » pour le public, et d'autre part, une réelle nécessité de développer des outils et stratégies pour utiliser les données collectées sur les algues.

Mais cela est peut-être la conséquence des stratégies de sélection des programmes de SC qui aboutissent à des projets sur des groupes susceptibles de plaire au public et ne jouent pas en faveur de programmes sur les algues. D'ailleurs, il n'existe pas de programme sur ces organismes directement initié par la société civile, ce qui peut refléter le manque d'intérêt social pour ce groupe.

Il est donc primordial que des efforts de communication et de sensibilisation soient investis en ce sens : donner une visibilité à l'utilisation et la valorisation des données ainsi qu'à la finalité du projet permettrait d'attirer le public et lui faire prendre conscience des enjeux liés à l'étude des algues.

Il est tout de même à noter que le succès de certains programmes consacrés aux algues (« BioLit », « *Big Seaweed Search* ») prouve qu'il existe un public sensible à cette thématique et met en évidence l'intérêt de travailler et d'approfondir cet attrait citoyen sur ce groupe souffrant globalement d'un déficit d'attractivité.

3.4.2 Création d'un projet de science participative : Ciblage des acteurs et du public potentiel

Lors de la création d'un programme de SC sur un objet d'étude particulier et dans ce cas précis, les algues, il existe un risque de non-réponse du public, notamment par l'image que ces organismes peuvent représenter dans la conscience collective, à savoir plutôt du dégoût que de l'intérêt.

En cela, la communication et la sensibilisation préalable du public sont une étape obligatoire pour rendre attractif et solliciter un nombre de participants acceptable sur un objet d'étude délaissé et souvent déplaisant. Cette étape n'est pas forcément nécessaire si le public visé correspond à des naturalistes phycologiques qui sont déjà sensibilisés à ces organismes et aux enjeux associés.

En parallèle, les scientifiques représentent également une communauté à informer quant aux intérêts des sciences participatives dans le cadre de collecte de données pour leurs travaux scientifiques. Cette recommandation est inhérente à la SC et au débat qu'elle soulève. De nombreux chercheurs et techniciens sont très attachés à la « recherche professionnelle » et considèrent, à tort ou à raison, les données de SC de qualité insuffisante pour être analysées.

Le développement de programmes sur les algues peut suivre deux cas de figure : soit, l'élaboration d'un programme de SC propre et indépendant, entièrement dédié aux algues (à l'image de « *Big Seaweed Search* »); soit le rattachement à des programmes de SC sur le domaine marin (« *Reef Check* », veille biologique, etc.).

Cependant, réaliser des programmes de SC sur les algues c'est avant tout se confronter à la difficulté d'identification de ces spécimens ce qui conduit à la nécessité d'un encadrement par des scientifiques et experts.

Enfin, un programme de SC a davantage de chances de fonctionner s'il suit le modèle « gagnant-gagnant », c'est-à-dire avec autant de bénéfices pour le scientifique que pour le citoyen. La favorisation de l'une ou l'autre des parties n'est pas optimale en SC, les programmes affichant cette stratégie finissent alors par s'essouffler. Il s'agit véritablement de trouver un équilibre et une harmonie pour satisfaire les communautés impliquées.

3.4.3 Sélection de la stratégie, du protocole et du type de données à collecter

Les protocoles mis en place peuvent cibler à la fois des espèces communes d'algues, mais également s'inscrire en tant que réseau de surveillance des algues invasives ou prolifération algale telle que l'ulve dans le cas du littoral breton ou encore les sargasses sur les littoraux des Antilles. Même s'ils reposent sur des observations opportunistes et ne peuvent être alimentés de manière constante et régulière, les

programmes de signalement (espèces invasives, rares, protégées) sont porteurs, car, par la multiplication de la ressource observatrice, ils augmentent les chances d'observer ces espèces et ainsi, favorisent et accélèrent les mesures de gestion sous-jacentes.

Par ailleurs, l'identification des priorités du projet est importante dans l'élaboration du protocole et le ciblage du public potentiel. L'orientation choisie conduira alors à, soit adopter une stratégie favorisant le plus grand nombre de contributeurs, soit opter pour un public plus restreint, mais possédant des compétences pointues. Il est également possible d'établir des protocoles de différents niveaux pour intégrer les degrés de compétences et de connaissances respectifs à chaque type de public, comme cela est proposé dans les programmes tels que « BioLit », « *Seasearch* » ou pour les outils et logiciels comme « CoReMo3 ».

Quoi qu'il en soit, il convient de proposer des protocoles adaptés aux compétences des participants et s'adressant aux différents publics du milieu marin, à savoir les plongeurs (apnée ou scaphandre autonome), les usagers du plan d'eau (plaisanciers, pêcheurs) et les personnes fréquentant le littoral (promeneurs, activités nautiques) afin de solliciter une large diversité de contributeurs.

La collecte des données et leur traitement post-terrain doivent aboutir à un format utilisable dans les travaux de recherche, pour favoriser leur exploitation et entre autres, donner une légitimité sociale aux actions des participants.

Le type de données collectées peut être très varié. Si les photographies sont des intrants de qualité par leur possibilité de vérification de l'identité du spécimen, elles se confrontent à la difficulté de détermination phylogénétique à partir d'un tel support. Se pose alors la nécessité de développer des outils pour valoriser ce format de données et les rendre utiles, utilisables et utilisées. Par ailleurs, d'autres formes d'intrants de données peuvent être envisagées, que ce soit pour répondre à des travaux de recherche sur la diversité spécifique comme fonctionnelle (mesures sur le terrain, analyse de l'habitat, collecte de tissu, etc.)

Enfin, les outils d'accompagnement sont un atout pour tout programme de SC puisqu'ils visent à informer, éduquer ou encore sensibiliser les participants dans leur démarche. Certains se doivent d'être vulgarisés et accessibles à un public sans compétences naturalistes pour les soutenir et les guider dès le début de leur implication, tandis que d'autres, destinés aux experts, sont plus approfondis et leur utilisation demande des compétences plus abouties.

3.4.4 Utilisation et valorisation des données

Le contexte actuel de référencement de la biodiversité place au-devant de la scène les enjeux de bancarisation, de capitalisation et de diffusion des données. Pour cela, il est pertinent de penser dès le départ à l'intégration et l'interopérabilité des données collectées par les programmes de SC à l'INPN et les bases de données internationales.

Par ailleurs, l'exploitation des données sur les algues ne sera possible que si le spectre et la méthode d'utilisation des photographies sont élargis. Pour ce faire, des ressources technologiques dans d'autres sphères d'étude peuvent être sollicitées (outils de botanique, clé de détermination automatique, etc.). En particulier, il existe des outils (applications, logiciels) pour la détermination taxonomique ou l'identification spécifique à partir de photographies, mais essentiellement pour les groupes animaux ou les plantes. La difficulté est de pouvoir les transférer aux algues, étant donné qu'ils reposent sur l'observation et la sélection successive de caractères morphologiques particuliers. Or comme vu précédemment, la majorité des taxons chez les algues est complexe à identifier au niveau spécifique. Les perspectives d'inspiration, voire d'adaptation, de ces outils pour les algues restent donc un enjeu dominant dans le paysage des SC dédiées à la phycologie.

Quant aux ressources humaines, il est nécessaire que des scientifiques soient impliqués dans ces programmes pour favoriser l'exploitation des données, leur interprétation et leur valorisation ultérieure. Les données issues d'initiatives associatives sont plus difficilement exploitables, ce qui montre la nécessité d'un cadre scientifique pour une utilisation ultérieure des données, et l'intérêt de structurer dès le départ la collecte des données.

Ainsi, les programmes de SC relatifs aux algues restent à développer, alors que l'exploitation des données qui en sont issues présente des perspectives de réussite seulement si des moyens sont mis en œuvre (*a minima* équivalents à ceux investis pour la botanique), en espérant susciter les mêmes engouement du public et vivacité des réseaux. Cependant, il est indéniable que l'utilisation et la valorisation des données sur les algues nécessitent la création de nouveaux outils pour surpasser la difficulté d'identification attenante à ce groupe, avant d'être opérationnelles.

4. PROPOSITION DE VOIES DE VALORISATION POTENTIELLES POUR LES DONNÉES SUR LES ALGUES

En se focalisant sur l'utilisation et la valorisation des données sur les algues récoltées dans le cadre de la SC, ce chapitre propose et décrit différentes voies pouvant être envisagées pour lever le verrou actuel de l'identification à l'espèce qui limite l'acquisition et l'exploitation de données sur la diversité des algues dans des travaux de recherche.

4.1 Présentation des voies potentielles

L'analyse des possibilités d'utilisation et de valorisation des données sur les algues a porté à la fois sur des voies existantes pour des programmes de SC sur les algues à l'international et pouvant être développées et étendues en France, des voies innovantes et originales ou encore des voies existantes dans d'autres disciplines et potentiellement transférables à la phycologie. La base de données réalisée (Annexe 1) a donc été largement sollicitée pour émettre ces propositions.

Les voies d'utilisation et de valorisation des données sur les algues en SC sont de plusieurs ordres. D'une part, la réflexion a été dictée en fonction des intérêts de recherche actuels autour des algues, présentés en chapitre 2. Il fut d'abord question de voies pouvant alimenter les travaux sur la diversité spécifique, voire supra-spécifique des algues, puis, dans un second temps, de voies visant la diversité fonctionnelle des communautés algales.

D'autre part, étant question de SC, il est important de cerner quel est le support de donnée à valoriser dans les travaux scientifiques. Il a été mis en avant que la majorité des intrants de données sur les algues en SC sont des photographies. Il est donc essentiel de proposer différentes sorties et pistes d'exploitation particulières aux photographies. Néanmoins, d'autres types de données peuvent être collectés comme cela se fait dans des programmes de SC internationaux, même si ce n'est pas encore le cas pour les programmes français. C'est pourquoi, en supposant le développement de tels programmes en France, les intrants de données autres que les photographies ont également été considérés, avec des voies de valorisation qui leur sont spécifiques.

4.1.1 Ciblage des espèces emblématiques et invasives facilement identifiables

Cette voie proposant l'utilisation de photographies et ciblant la diversité spécifique est présentée en détail en Annexe 2.

Le domaine marin français présente des espèces emblématiques aux yeux du public comme des scientifiques. Qui plus est, ces taxons possèdent une allure caractéristique permettant leur identification à partir des caractères morphologiques observables, directement sur le terrain ou sur photographie.

Des programmes ciblant de telles espèces sont déjà proposés sur le territoire français (« BioLit », et en partie DORIS) et à l'international (« *Big Seaweed Search* », « *Nature Watch New-Zealand intertidal zone* »). Il pourrait donc être question d'étendre la liste d'espèces proposées par « BioLit » (6 espèces d'algues brunes) (figure 4.1) en reprenant les espèces intégrées dans les programmes étrangers (« *Big Seaweed Search* ») et présentes également sur les littoraux français. En constituant un relais à l'échelle du territoire, le projet bénéficierait d'une coordination à large échelle tout en se spécialisant sur les taxons accessibles sur nos côtes. Des espèces invasives reconnaissables visuellement peuvent également être considérées.

Cette proposition présente un fort aspect pédagogique et éducatif, mais également scientifique dans le cas où les espèces ciblées peuvent être sources d'études menées dans le cadre de travaux de recherche.

Les espèces proposées correspondront donc à celles mises en avant par le biais de ces programmes, complétées par des espèces emblématiques du littoral français, mais également des espèces exogènes ou des espèces tout simplement facilement identifiables jusqu'au niveau spécifique. Une liste non exhaustive est proposée ci-dessous :

- Espèces facilement identifiables :

Alaria esculenta, *Ascophyllum nodosum*, *Bifurcaria bifurcata*, *Fucus serratus*, *Fucus spiralis*, *Fucus vesiculosus*, *Himanthalia elongata*, *Pelvetia canaliculata*, *Saccharina latissima*, *Sargassum muticum*.

- Espèces emblématiques des côtes françaises à ajouter :

Laminaria digitata, *Palmaria palmata*, *Chaetomorpha aerea*

- Espèces exogènes :

Asparagopsis armata, *Asparagopsis taxiformis*, *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa racemosa*, *Grateloupia turuturu*, *Polysiphonia morrowii*.

(N. B.: Les deux espèces d'*Asparagopsis* ne sont pas distinguables lorsqu'elles sont au stade tétrasporophyte (forme de pompons) de leur cycle de vie (3^e génération))

Les objectifs visés sont:

- Éduquer le public à la reconnaissance des espèces d'algues sur les littoraux français;
- Obtenir des données sur les algues issues de SC en limitant les erreurs d'identification;
- Alimenter les travaux portant sur la diversité et la répartition des algues appartenant à la sélection.

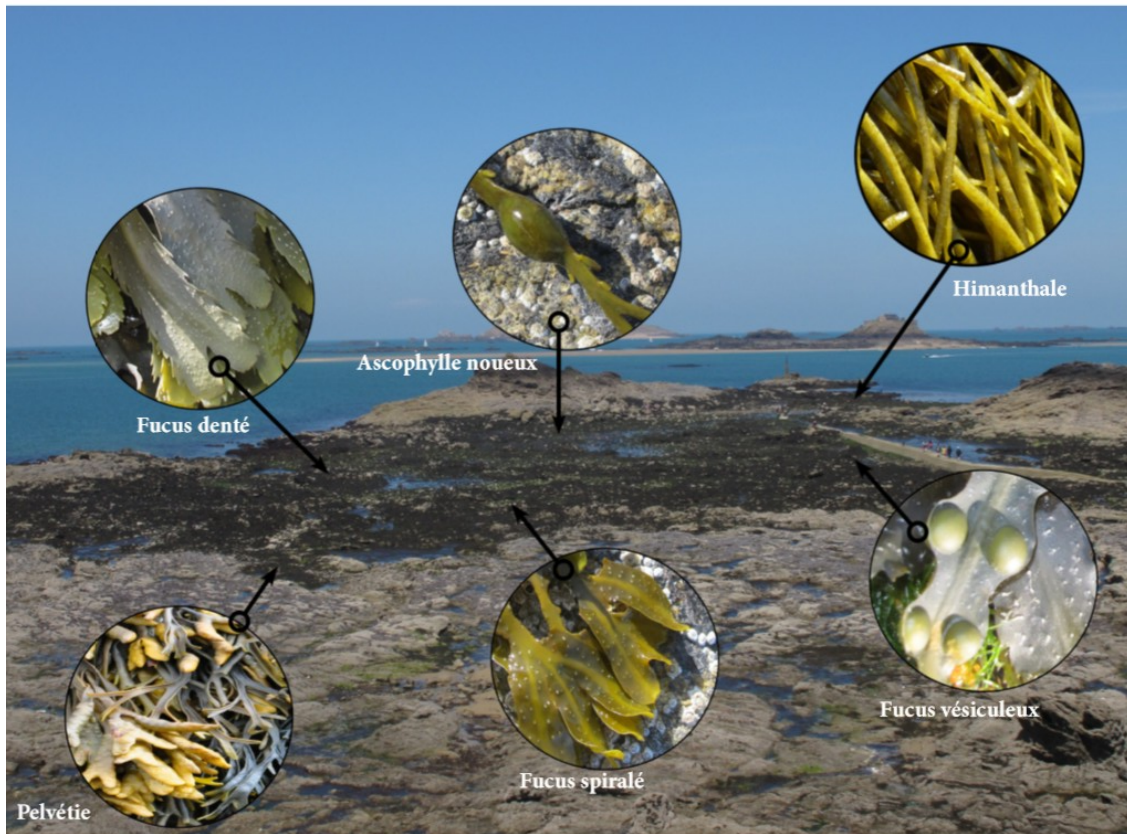


Figure 4.1 : Fiche d'aide à l'identification des algues brunes du programme BioLit (tiré de : BioLit, s. d.)

Il s'agit d'obtenir des données sur des espèces particulières par le biais d'inventaires ciblés de type présence ou présence/absence et l'apport de photographies pour approfondir les connaissances sur leur phénologie et leur distribution. Ce projet permettrait également la surveillance d'espèces exogènes ou encore la répartition et l'état de santé des communautés emblématiques. Les analyses pouvant en découler peuvent correspondre à des études de distribution de ces espèces, de leur aire de répartition ou encore l'évaluation des effets de l'environnement sur leur phénotype et leur répartition.

Pour ce qui a trait du retour aux participants, une carte interactive des observations de ces espèces peut être développée.

Cette voie ne présente pas de contraintes si ce n'est la recommandation d'opter pour une liste d'espèces qui est susceptible d'intéresser les scientifiques dans leurs travaux pour favoriser l'exploitation de ces données.

La détermination d'une liste d'espèces comporte cependant une limite inhérente qui est l'aspect figé de l'inventaire sur des taxons imposés et donc la perte de spontanéité et d'opportunité dans la démarche d'observation des participants.

4.1.2 Logiciel d'identification automatique des espèces photographiées

Cette voie proposant l'utilisation de photographies et ciblant la diversité spécifique est présentée en détail en Annexe 3.

Cette voie ambitionne de déterminer automatiquement les espèces présentes sur les photographies au moyen d'un logiciel. Le principe initial repose sur le référencement de différentes images d'espèces ou de parties d'algues en tant qu'images de référence d'un taxon précis et la détermination de ce dernier sur caractères morphologiques uniquement. En définissant ces particularités, il est alors possible de lancer une recherche comparative à partir d'une photographie d'une espèce non identifiée issue de la SC et ainsi, aboutir à l'identification de cette dernière par un algorithme d'appariement.

L'application d'un tel logiciel ne portera que sur des groupes d'algues restreints, dont suffisamment d'informations et images de caractères morphologiques sont déjà à disposition pour établir la base de référence, et présentant une taxonomie morphologique en accord avec la taxonomie moléculaire. Par ailleurs, des phénomènes tels que la convergence morphologique ou la plasticité phénotypique peuvent obérer la fonctionnalité et la performance du logiciel et entraver la fiabilité du résultat obtenu. Une des composantes essentielles serait de mesurer cette marge d'incertitude en association au résultat une probabilité de vraisemblance.

Des efforts doivent donc être investis dans l'étude de faisabilité de cette technique sur les algues, mais il est à préciser qu'une collection de 800 000 spécimens du MNHN a été scannée et représente un jeu de données conséquent disponible dès à présent (base de données des collections du MNHN, section cryptogames) et permettant de tester cette méthode, voire constituer les premières bases d'images de référence (Le Gall, 2015c).

Plusieurs projets similaires existent en botanique et pourront être une source d'inspiration et de technologie pour développer un logiciel sur les algues : il s'agit, entre autres, du système de portrait-robot (IDAO), du système d'assistance à la détermination « Ophélie » (composante du projet

FloraBelissima) ou encore d'un logiciel de reconnaissance à partir de zones locales caractéristiques (Plant@NET-IDENTIFY).

Ces logiciels sont opérationnels sur des groupes restreints. Pour Plant@NET-IDENTIFY, des données visuelles de feuilles, fleurs, fruits et tiges permettent l'identification de plantes à fleurs par comparaison aux spécimens de la banque d'images (Bonnet, 3 juin 2015) ((figure 4.2). Pour IDAO, l'établissement d'un portrait-robot associé à un calcul de vraisemblance concerne des groupes tels que les plantes herbacées, les ligneux, les orchidées ou encore les grains de pollen pour des applications sur des flores de différentes régions (adventices du riz et autres cultures, espèces exotiques envahissantes, etc.) (Le Bourgeois, 2 juin 2015). Quant au système d'assistance à la détermination « Ophélie », il repose également sur une base de données dans laquelle sont indexées des images de plantes. Il fonctionne par le choix de caractères visuels et par comparaison à ceux intégrés dans la base, et progresse pour (éventuellement) trouver l'espèce possédant le plus de caractères en commun tout en se distinguant suffisamment des autres espèces potentielles (Pernot et Matthieu, 2010).

L'adoption de cette voie de valorisation des photographies a pour objectifs de :

- Déterminer l'identité taxonomique (genre voire espèce) des spécimens photographiés par reconnaissance assistée par ordinateur;
- Capitaliser les données sur les caractères morphologiques des groupes taxonomiques susceptibles de faire l'objet d'identification automatique par un logiciel;
- Faciliter l'identification des photographies de SC;
- Faciliter plus généralement l'identification des algues, tant pour les scientifiques que pour les citoyens;
- Favoriser l'exploitation de ces données au sein de travaux sur la diversité taxonomique des algues.

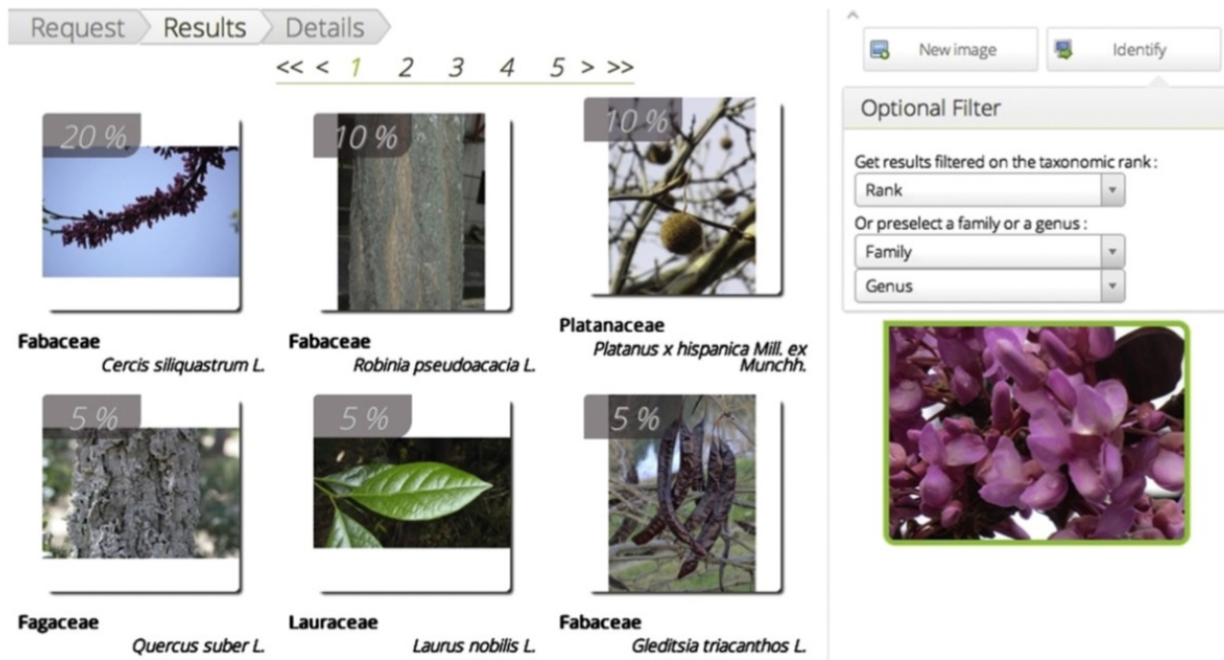


Figure 4.2 : Vue d'un exemple de résultats sur l'interface Plant@Net-IDENTIFY (tiré de : Joly *et al.*, 2014, p. 28)

Les résultats attendus sont l'identification par comparaison morphologique des spécimens photographiés et l'alimentation des travaux de recherche sur la diversité spécifique portant sur les groupes désignés. Différentes applications peuvent être envisagées en fonction des algues pour lesquelles le logiciel est fonctionnel.

Ce logiciel peut également être considéré comme un outil citoyen tissant le lien avec les professionnels pouvant effectuer leurs analyses à partir de ces données (scientifiques ou responsables de territoires) et s'inscrit dans la tendance d'une utilisation croissante de systèmes écologiques de surveillance basés sur des images (Joly *et al.*, 2014).

Quelle que soit la méthodologie choisie, le lourd travail en amont demande un imposant effort temporel et humain et donc, un apport financier conséquent.

Le logiciel doit cibler uniquement des espèces pour lesquelles toutes les informations sur les caractères morphologiques sont renseignées et pouvant alors être aisément décrites. De nombreux taxons ne peuvent faire l'objet d'un tel système. En effet, certains groupes d'algues sont sous-étudiés, d'autres possèdent une diversité de morphotypes complexe qui n'est pas, à ce jour, évaluée. Pour d'autres encore, les caractères morphologiques ne sont tout simplement pas suffisants pour distinguer deux espèces proches. Enfin, des phénomènes de convergence morphologique, plasticité phénotypique et

diversité cryptique peuvent obérer l'identification automatique. Enfin, les outils de la systématique moléculaire ont mis en évidence de nombreuses « espèces putatives » pour lesquelles des caractères morphologiques ont bien été observés, sans toutefois pouvoir les lier avec les types porte-noms.

Quoi qu'il en soit, et dans le cas de l'aboutissement d'un logiciel fonctionnel pour certains groupes d'algues, les données relatives devront être évaluées annuellement et dans le cas de modifications ou découvertes (d'espèces ou de morphotypes), mis à jour en fonction.

4.1.3 Identification par clé de détermination interactive

Cette voie proposant l'utilisation de photographies et ciblant la diversité spécifique est présentée en détail en Annexe 4.

Cette voie met en avant l'utilisation de clés de détermination interactive pour l'identification taxonomique des espèces sur photographie. Le principe consisterait à proposer une sélection successive de caractères morphologiques visibles à l'œil nu et aboutissant à des propositions d'espèces partageant des caractéristiques similaires avec une probabilité de ressemblance.

La complexité et la lourde élaboration d'un tel projet imposent de traiter les algues groupe par groupe pour la réalisation de clés spécifiques.

Des travaux ont été commencés au milieu du 20^e siècle par Gontran Hamel, mais restent non terminés ou fragmentaires et n'ont pas été mis à jour depuis l'avènement de la taxonomie moléculaire. Les groupes concernés par ces premières clés sont les Chlorophyceae des côtes françaises (Hamel, 1924a; 1930), les Florideae de France (Hamel, 1924b; 1975) et les Phaeophyceae (Hamel, 1931). Ces dernières se trouvent sous format papier, ce qui n'optimise pas leur utilisation.

Il serait donc intéressant de : 1) les mettre à jour en fonction des nouvelles découvertes d'espèces et du remaniement taxonomique issu de l'analyse moléculaire; 2) étudier la faisabilité sur des groupes plus restreints en prenant soin de vérifier que la discrimination sur base morphologique est en accord avec les résultats issus de la taxonomie intégrative (morpho-anatomique et moléculaire); et 3) de privilégier un format numérique et interactif des clés élaborées.

Enfin, une version de clé interactive pourrait également être déclinée sous forme d'application *Smartphone* pour des déterminations post-terrain.

Les objectifs visés sont :

- Faciliter l'identification des espèces (ou supra-spécifique) par un outil d'accompagnement interactif;
- Relancer la floristique des algues en sollicitant la participation citoyenne;
- Mettre en commun et structurer toutes les données taxonomiques relatives à la morphologie par le biais de ce projet.

Les résultats attendus sont la facilitation du public à la détermination des taxons observés et finalement, l'alimentation des travaux de recherche portant sur la diversité, la taxonomie et la phylogénie des lignées pour lesquelles le logiciel sera fonctionnel. Ces données pourront être collectées dans une base de données locale, voire nationale, après vérification par des experts.

Par ailleurs, le travail d'élaboration de clé de détermination, que ce soit la mise à jour d'anciens travaux comme la création inédite, permettrait un renouveau de la floristique phycologique, qui est actuellement un domaine délaissé (Le Gall, 2015c).

Néanmoins, cette piste de valorisation se confronte au manque de disponibilités humaines et temporelles pour un tel travail, notamment dans un contexte actuel où la floristique ne correspond pas aux priorités de recherche. La SC représente alors une source intéressante à impliquer dans un tel travail, demandant à la fois du temps et un nombre non négligeable d'acteurs, et pourrait donc être un levier pour relancer la floristique des algues.

La botanique bénéficie d'ailleurs d'une participation citoyenne particulièrement efficace, notamment dans le domaine des clés de détermination. Ces dernières sont fonctionnelles jusqu'à la famille, le genre ou l'espèce et certaines sont articulées autour de sites particuliers, par exemple « ID-Botanica » pour les plantes vasculaires de France métropolitaine et de la Réunion (Tela Botanica, s. d.). La mobilisation d'une communauté similaire pour les algues serait porteuse pour la discipline.

Une autre contrainte non négligeable pour ce projet est le manque de ressources bibliographiques disponibles. En effet, même si certains travaux avaient été commencés dans les années 1930, ils restent fragmentés et archaïques.

Pour certains groupes, la morphologie ne suffit d'ailleurs pas à identifier l'espèce et des analyses anatomiques et moléculaires s'imposent. De même, les phénomènes de convergence et de plasticité réduiront les chances de réussite du logiciel dans de nombreux groupes.

Cette voie ne peut donc être généralisée à toutes les algues, et quoi qu'il en soit, les modalités de réalisation imposent que des clés soient proposées au fur et à mesure, sur des groupes possédant des

données « fiables ». D'imposantes ressources humaines, temporelles, et donc financières, sont nécessaires sans promesse de succès.

4.1.4 Identification des algues au niveau générique

Cette voie proposant l'utilisation de photographies et ciblant la diversité supra-spécifique est présentée en détail en Annexe 5.

S'il est souvent complexe d'identifier les spécimens au niveau spécifique sur des images, il est beaucoup plus aisé de déterminer le genre en question à partir de la morphologie observée. C'est pourquoi, si le niveau d'identification s'en tient au genre, une quantité massive de photographies pourra être identifiée et leur exploitation scientifique en sera favorisée.

En effet, de nombreuses études sur la répartition et la distribution de groupes d'algues, voire certaines études phylogénétiques ciblent le niveau générique pour alimenter leurs travaux.

Les différents objectifs visés sont :

- Favoriser l'exploitation des photographies sur les algues;
- Permettre au participant une identification rapide du genre observé;
- Alimenter les travaux de recherche par des données de SC à l'échelle générique.

Les résultats attendus sont l'identification massive à un niveau générique des photographies existantes et à venir et ainsi augmenter les chances des données photographiques de SC sur les algues d'être utilisées et valorisées. Par cette approche, ce sont les travaux de recherche ciblant le niveau générique et supra générique qui sont visés. Il peut alors être question d'études sur la diversité supra-spécifique, d'analyses phylogéniques à l'échelle du genre, l'écologie des communautés, sur la répartition et le suivi (ex. : bathymétrique ou latitudinal) de genres d'algues, en réponse au changement global, etc. Il est également possible que les résultats obtenus (identification de genres, aire de répartition, etc.) viennent compléter des bases de données locales, voire nationales.

Par ailleurs, il s'agit d'un premier niveau d'identification, les photographies de spécimens pour lesquels il est pertinent d'approfondir l'analyse pourront être sujettes à une identification jusqu'à l'espèce par des scientifiques si tant est qu'ils puissent y parvenir sur la base des caractères morphologiques seuls.

Le concept d'identification au niveau générique est associé à une limite d'application inhérente puisque les données ne pourront satisfaire que des travaux de recherche de même niveau taxonomique. Cette

limite n'est cependant pas figée puisque l'identification au niveau spécifique reste possible, mais elle devra être réalisée au cas par cas par le chercheur intéressé, et donc sur un groupe restreint de photographies. Il peut également exister des difficultés de distinction entre genres pour certaines familles phycologiques, mais en moindre mesure par rapport au niveau spécifique.

4.1.5 Paysages, strates et biocénoses algales

Cette voie proposant l'utilisation de photographies et ciblant la diversité des communautés et la diversité fonctionnelle est présentée en détail en Annexe 6.

Cette piste consiste à identifier sur photographies les biocénoses algales observées. La définition et la description des différentes strates algales font l'objet d'une documentation et de travaux importants, et mis à jour. Il y a donc une base scientifique suffisante pour l'écologie des communautés, cependant des actions restent à entreprendre pour ouvrir ce domaine aux SC. En effet, souvent non-familiers des différentes biocénoses algales, il est nécessaire de fournir aux participants des photographies correspondantes à chacune d'elles. Par exemple, le document de référence récemment mis à jour « Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique Version 2 » (Michez *et al.*, 2015) pourrait être accompagné d'un catalogue de photographies descriptives relatives à chaque biocénose définie.

Certaines biocénoses remarquables (Herbiers de Posidonie, peuplements de coralligène, etc.) sont intéressantes à porter à la sensibilisation du public pour la grande diversité qu'elles abritent et leur rôle fonctionnel majeur dans l'écosystème. D'autres biocénoses se distinguent par leur caractère culturel, patrimonial ou encore esthétique dans la perception qu'en ont les plongeurs (figure 4.3). Elles peuvent donc faire l'objet d'un programme de SC qui aurait de grandes chances d'être attractif.

Les objectifs visés sont :

- D'impliquer les citoyens dans l'observation des biocénoses;
- D'associer davantage la SC à des travaux sur la diversité fonctionnelle;
- D'informer, éduquer et sensibiliser le grand public à la diversité des biocénoses algales, leurs rôles fonctionnels et les nombreux enjeux associés.

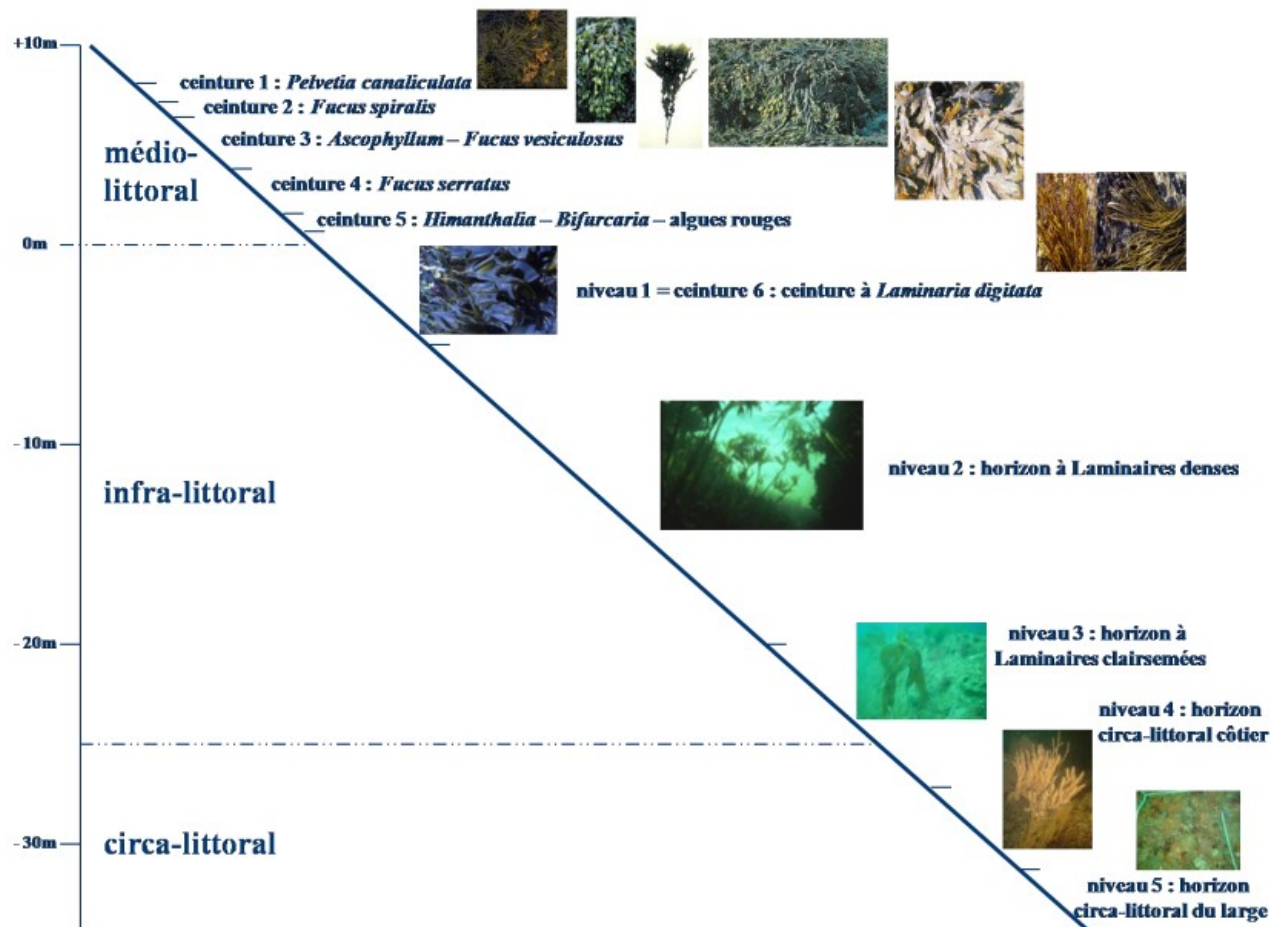


Figure 4.3 : Exemple d'étagement d'habitats et biocénoses associés sur le littoral breton (tiré de : Ar Gal *et al.*, 2010, p. 4)

Les données issues des photographies citoyennes pourront alimenter différents travaux sur la diversité fonctionnelle des biocénoses benthiques et favoriser l'approfondissement des connaissances sur la structuration des peuplements (succession des ceintures, strates algales, biodiversité, compétition spécifique, biogéographie) ainsi que leur évolution au cours du temps. Dans un contexte de changement global, cela peut mettre en évidence l'impact des activités anthropiques et du changement climatique sur ces communautés. L'implication de citoyens, par son potentiel de multiplication des ressources observatrices, peut également favoriser la découverte de nouvelles associations phycologiques.

De manière plus précise, les données collectées peuvent être soumises à des calculs d'indices ou autres analyses (Le Pape, 2005; Micheli et Halpern, 2005; Petchey et Gaston, 2002). Notamment, la corrélation entre variabilité spatiale et hétérogénéité des strates est particulièrement testée, en ciblant la diversité des groupes écologiques et trophiques selon le gradient bathymétrique ou encore l'hétérogénéité des substrats, la diversité des habitats et la diversité fonctionnelle pour tester l'hypothèse selon laquelle la

diversité fonctionnelle serait favorisée par un plus grand nombre de niches écologiques. L'étude de la variabilité dans le temps, associée au suivi des espèces opportunistes ou de la succession de groupes trophiques, permet de mettre en évidence les éventuelles évolutions (extension, composition) et d'apprécier l'impact des perturbations climatiques et anthropiques sur les biocénoses. (Rouyer, 2008)

Enfin, des analyses multi-échelles sont réalisées pour des problématiques locales (clapage, aménagements, extraction granulat) à globales (réchauffement climatique et limite aire de répartition des espèces) (Derrien-Courtel et Le Gal, 2010; Gallon *et al.*, 2014), et le croisement de données avec des bases de données permet alors de discriminer les paramètres locaux et globaux pouvant expliquer la répartition des communautés benthiques.

Le Réseau benthique (REBENT) mène déjà des travaux sur les biocénoses algales (étude de l'extension en profondeur des ceintures algales, densité des algues structurantes, etc.) (Ar Gall *et al.*, 2010). Une étude sur base d'images et des données de SC pourrait être une source d'informations supplémentaires non négligeables.

Par ailleurs, d'un point de vue gestion et conservation des écosystèmes, ce projet est également pertinent puisque des habitats tels que les forêts de Laminaires sont particulièrement intéressants par leur rôle fonctionnel majeur au sein de la zone côtière (Robuchon *et al.*, 2015). Il est donc essentiel d'impliquer la société civile dans de telles problématiques, à la fois pour améliorer leurs connaissances, mais également pour la sensibiliser à ces écosystèmes primordiaux et pourtant fragiles.

Cependant, ce projet de valorisation des photographies sur les biocénoses est subséquent, d'une part à la mise en place d'un programme de SC dédié, et d'autre part, d'un travail d'illustration photographique de la typologie des biocénoses benthiques.

La qualité des photographies jouera un rôle important dans la limite d'exploitation des données, d'où la nécessité d'encadrer et de guider les participants lors de leur collecte. De même, certaines limites inhérentes à la photographie, qui ne permet pas toujours une fidélité à la réalité et à la complexité des associations visibles sur le terrain, peuvent obérer la réalisation d'une analyse scientifique fiable et précise.

4.1.6 Extraction de traits fonctionnels

Cette voie proposant l'utilisation de photographies ou d'autres mesures issues d'observations *in situ*, et ciblant la diversité fonctionnelle est présentée en détail en Annexe 7.

Malgré le nombre conséquent de programmes de SC (inventaire, suivi, etc.), encore peu s'intéressent à la diversité fonctionnelle et sollicitent le participant à la collecte de traits.

L'utilisation des données SC portant sur la biodiversité, nécessitent dans le cas d'analyses à l'échelle des écosystèmes, le croisement avec des bases de données d'écologie fonctionnelle ou de traits. Seulement les données alors utilisées portent sur des sites différents, des populations différentes et correspondent finalement à des valeurs moyennes calculées pour ces cas d'étude. Compte tenu de la variabilité intraspécifique importante, utiliser ces données peut donc, dans certains cas, apporter un biais (Lavorel *et al.*, 2008; Albert *et al.*, 2011; De Bello *et al.*, 2011).

La SC pourrait jouer un rôle dans cette problématique. D'une part, la création d'un programme ciblant les traits d'espèces pourrait être envisagée. Le public serait impliqué dans la mesure de certains traits *in situ* sans nécessiter de connaissances taxonomiques particulières, écartant ainsi les erreurs possibles d'identification des espèces survenant dans les programmes habituels.

D'autre part, les photographies issues des SC peuvent également être une source d'informations desquelles certains traits peuvent être extraits.

En France, les programmes de SC « Phénoclim » et l'« ODS » appartiennent à ce nombre restreint de programmes portant sur la diversité fonctionnelle en ciblant respectivement la phénologie des espèces, pour en analyser l'évolution et l'impact du changement global. STOC (LPO), quant à lui, implique le citoyen dans la capture pour réaliser des mesures de traits morphologiques (longueur de l'aile, taille, poids), mais ne s'adresse qu'à un public expert et aguerri à la capture d'oiseau.

Les macroalgues étant des organismes majoritairement fixés, la collecte de traits est particulièrement réalisable. L'approche de diversité fonctionnelle pour ces organismes consiste en la collecte de caractéristiques morphologiques, physiologiques, comportementales ou ayant trait à l'histoire de vie (Lange *et al.*, 2014).

Cependant, une phase de sélection des traits susceptibles d'être observés sur le terrain ou exploités à partir de photographies est au préalable nécessaire.

Pour la collecte *in situ*, les traits doivent correspondre à un niveau de complexité accessible au public. Il peut s'agir de mesures de la hauteur et l'emprise de l'algue ou d'observation sur le type de croissance, l'habitat, la formation de spore et le type de reproduction.

De même, pour les photographies, seuls les traits pouvant être figés seront extraits. Le type de croissance, l'habitat, la formation de spores et le type de reproduction peuvent être des traits visibles à partir d'une photographie si celle-ci répond à des critères de qualité, prise de vue rapprochée et de détail sur les spécimens.

Les objectifs visés sont :

- Exploiter les données de SC en s'émancipant du verrou posé par les difficultés d'identification à l'espèce des photographies;
- Développer la démarche participative autour d'une approche différente de la diversité (généralement conçue sous le seul aspect de la diversité spécifique) et approfondir les connaissances citoyennes sur les traits fonctionnels et plus globalement sur le fonctionnement des écosystèmes;
- Alimenter les travaux de recherche portant sur la diversité fonctionnelle par des données issues de SC.

La détermination de certains traits fonctionnels à partir des photographies de SC viendrait compléter le recensement général des traits fonctionnels sur des taxons d'algues particuliers. Ces données permettent diverses analyses s'inscrivant dans l'étude de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, le suivi de leur évolution (dynamique) ou encore l'évaluation du bon état écologique d'un milieu ainsi que l'effet du changement climatique et des perturbations anthropiques sur les relations fonctionnelles et trophiques.

L'implication de citoyens (par participation de terrain ou photographies) dans une telle approche permettrait par ailleurs d'appréhender la diversité fonctionnelle à large échelle.

Enfin, le projet de base de données collaborative des traits fonctionnels des macroalgues (cf. partie 2.2) pourrait bénéficier indirectement de l'apport de ces données citoyennes.

La majeure contrainte de ce projet est que seulement un certain nombre de traits pourra être apporté par les photographies et/ou mesures de terrain de SC, mais pas la globalité. Il est donc essentiel de juger auparavant la plus-value de cet apport de données pouvant être qualifiées de « fractionnées ».

De plus, il est possible que certains participants, souvent habitués à l'identification de l'espèce étudiée, tel que se pratique classiquement la SC dans les domaines de la biodiversité, soient frustrés par la nature de leur implication ne ciblant que des traits.

4.1.7 Identification des communautés sur images satellites

Cette voie proposant l'utilisation d'images satellites et ciblant la diversité fonctionnelle est présentée en détail en Annexe 8.

Avec l'amélioration de la résolution spatiale des images issues de capteurs satellitaires, l'utilisation de ces images est en plein essor. Ces données renseignent sur la réponse de la terre face au changement climatique, aux perturbations anthropiques ou naturelles et les satellites sont alors utilisés comme moniteurs dans de nombreux domaines (cultures, sylviculture, état des récifs coralliens, exploration de gaz et pétrole, état des littoraux, changement dans la couverture glacière), et notamment dans l'étude des changements sur les communautés algales de taille imposante (Byrnes, 2014).

En formant des canopées flottantes à la surface de l'eau, certaines algues sont facilement distinguables sur une vue par satellite. De plus, se trouvant dans un milieu marin, l'eau va jouer un rôle d'absorbance de la quasi-totalité de l'énergie infrarouge entrante et les communautés apparaissent alors très distinctement en utilisant un signal de réflectance infrarouge (Canavaugh, 2014).

Le traitement de ces données est cependant très dispendieux en termes de temps et de ressources humaines. L'utilisation de logiciel de reconnaissance automatique n'est pas non plus performante, car les communautés algales, distinguables par l'œil humain, peuvent être confondues par les machines à avec d'autres objets (îles, nuages, etc.) (Canavaugh *et al.*, 2011). C'est pourquoi la SC peut être une ressource judicieuse dans le report d'informations sur images satellites. « *Floating Forest* », un programme de SC de *Zooniverse*, s'implante d'ailleurs efficacement en la matière, en proposant aux participants d'identifier de manière graphique les forêts de *kelp* visibles sur les images satellites recueillies.

Cette proposition va donc de pair avec la création d'un programme de SC français visant l'implication du citoyen dans le traitement d'images satellites à l'image de « *Floating Forest* » ciblant les forêts de *kelp*.

En France, les images satellites peuvent être obtenues par le biais de différents capteurs, dont IKONOS (Andréfouët *et al.*, 2003; Mumby et Edwards, 2002) et SPOT5 (Fournier *et al.*, 2004; Pasqualini *et al.*, 2005) (Cottonnec *et al.*, 2005).

Au niveau du littoral français, une telle piste ciblerait les communautés suivantes (figure 4.4) :

- Ceintures de Fucales
- Efflorescences des ulves
- Forêts de laminaires
- Herbiers de posidonies (Communautés pouvant être incluses même s'il ne s'agit pas d'algues).

Par ailleurs, des travaux de recherche visent à tester l'apport de la haute résolution spatiale à l'estimation de la couverture végétale et la discrimination des algues brunes, rouges ou vertes (utilisation des deux premiers canaux de SPOT et de l'infrarouge), ce qui permettra d'étendre la sélection à des groupes d'algues plus réduits tout en distinguant des taxons précis (Perrot *et al.*, 2003).

Les objectifs sont :

- Développer la SC pour des tâches dispendieuses en ressources humaines et temporelles;
- Créer un programme inédit en France de SC sur des images satellites;
- Obtenir des données sur les communautés algales repérables depuis l'espace et analyser leur dynamique au fil du temps et des perturbations rencontrées.

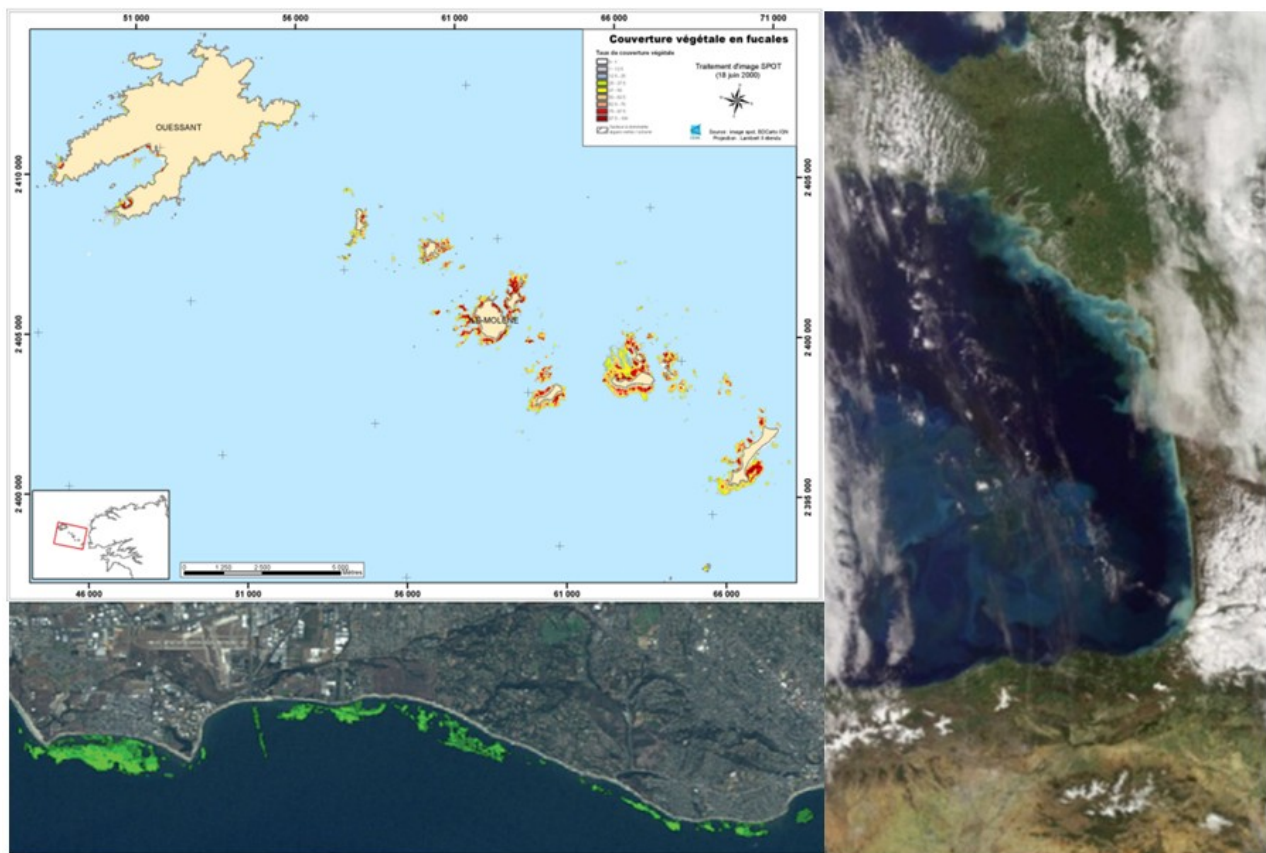


Figure 4.4 : Exemples d'images satellites et applications.

a. Cartographie des ceintures de fucales après traitement des images satellites SPOT. **b.** Efflorescence algale dans le golfe de Gascogne depuis la caméra MERIS. **c.** Canopée de *Macrocyctis pyrifera* à partir d'images satellites Landsat 5 (compilation d'après : Cavanaugh *et al.*, 2011; ESA, s. d.; Perrot et Mouquet, 2005).

Les résultats attendus sont l'acquisition de données de répartition et distribution de ces différentes données algales, et leur évolution au cours du temps, ce qui permettrait entre autres d'évaluer les effets du changement global sur ces organismes jouant un rôle fonctionnel important dans leur écosystème. Par ailleurs, et en ce qui concerne les efflorescences des ulves, cela favoriserait la surveillance de ce phénomène de prolifération et pourrait être utilisé par les gestionnaires des espaces concernés pour la mise en place de mesure de prévention et/ ou de protection et conservation.

Il est tout à fait réalisable de calculer la couverture algale à partir d'images satellites et de surveiller son évolution lorsque des images multi-dates sont à disposition.

De manière générale, cela enclencherait l'analyse massive du nombre considérable d'images satellites disponibles et allégerait de manière alternative l'investissement temporel des chercheurs pour cette tâche. Une valorisation cartographique annuelle peut également être envisagée tel un retour visuel des informations aux participants tout en servant de cartographies de suivi pour les scientifiques.

Les informations issues d'images satellites (répartition, ampleur, distribution géographique, impact du littoral et des activités humaines, etc.) sur les communautés algales peuvent également être capitalisées et bancarisées dans des bases de données.

Cependant, un tel projet est dépendant de la création d'un programme de SC adjacent ou de la création d'un relais français au programme « *Floating Forest* ». Il s'agit par ailleurs d'un projet qui demande l'implication de scientifiques en amont, qui repose sur une lourde logistique et présente un certain coût (s'il y a création du logiciel graphique).

4.1.8 Collecte d'échantillons, phylogénie et *barcoding*

Cette voie proposant l'utilisation de données issues de collectes de tissus ou de *vouchers* et ciblant la diversité spécifique est présentée en détail en Annexe 9.

Il peut être envisagé d'impliquer le citoyen dans les travaux de taxonomie et d'étude de la diversité spécifique des algues par la collecte de tissus ou spécimens lors de leur plongée ou autre activité, puis d'envoyer leur récolte à un laboratoire de recherche récepteur qui pourra entreprendre l'analyse moléculaire ou la mise en herbier des différents échantillons.

Cela permettrait d'intégrer le citoyen dans le premier maillon de la recherche sur la diversité phylogénétique avec des collectes couvrant un large territoire géographique sans nécessité pour le public de posséder de compétences naturalises.

Cette proposition peut également jouer un rôle non négligeable dans la recherche sur la diversité phylogénique et notamment le projet de *barcoding* par la multiplication de ressources disponibles pour les missions de terrain, et donc la possibilité de collecte massive d'échantillons sur une large emprise spatiale couverte par les participants.

Cette voie favoriserait également la collecte de données opportunistes et les chances d'aboutir à des résultats inattendus (nouvelles espèces, nouvelles limites de répartition des espèces, présence d'espèces exogènes, etc.).

Néanmoins, ce projet reste fonction de la création et la mise en place d'un programme de SC sur la collecte d'échantillons.

Les objectifs ciblés sont :

- Employer les ressources de SC dans la collecte d'un nombre conséquent d'échantillons;
- Informer le public sur l'approche de taxonomie moléculaire et les enjeux;
- Obtenir des données moléculaires issues de la SC et alimentant les approches de *barcoding*.

Ces données alimenteront les travaux de recherche sur la diversité spécifique et notamment ceux ayant trait à la taxonomie, la phylogénie et la phylogéographie ou permettront l'acquisition massive de séquences pour du *barcoding*. Par ailleurs, l'apparition de ce type de données en SC et son traitement surpasse le verrou actuel d'identification des algues sur caractères morphologiques en reposant sur une approche moléculaire.

Par ailleurs, il serait envisageable de proposer des protocoles avec quadrat, à l'image de ce qui se fait en botanique à travers le programme Vigie-Flore, afin de bénéficier de relevés permettant une approche d'écologie des communautés.

Cette proposition demande une lourde logistique et est coûteuse. En effet, elle est dépendante de la disponibilité des ressources de laboratoires de recherche (humaines, temporelles, budgétaires) pour le traitement de ces échantillons. Elle serait davantage réalisable si le développement et les coûts des méthodes de séquençage permettent l'utilisation massive de cette technique et notamment sur une multitude d'échantillons collectés par des citoyens.

Le citoyen doit également disposer du matériel nécessaire et pas toujours intuitif contrairement à un appareil photo par exemple. Il serait alors nécessaire de distribuer des kits d'échantillonnage pour la collecte de tissus.

4.2. Composantes considérées

Chaque piste potentielle d'utilisation et de valorisation des données de SC portant sur les algues est présentée et analysée selon les composantes suivantes (Annexe 2) :

- L'intrant de donnée en jeu et le domaine dans laquelle elle s'inscrit, c'est-à-dire respectivement le type de données exploitées (photographies, images satellites, tissus, mesures, etc.) et la composante de diversité visée par la proposition (diversité spécifique, supra-spécifique, fonctionnelle);
- La description de la piste et du concept sous-jacent, du contexte ainsi que les objectifs associés.
- Les résultats attendus à travers la mise en place de la voie proposée ainsi que les applications directes ou indirectes dans les travaux de recherche;
- Les prérequis scientifiques, à savoir les détails du concept d'un point de vue scientifique (matériel et méthode), ce qui est résolu et ce qu'il reste à faire;
- Les exigences techniques, quant à elles, font référence aux difficultés, contraintes, et demandes techniques, technologiques ou matérielles nécessaires à la création ou la mise en place du projet, une fois que l'aspect scientifique est fonctionnel;
- Les exigences organisationnelles regroupent ce qui a trait à l'organisation nécessaire dans la mise en place de la voie, l'implication des différentes parties prenantes, les experts et compétences nécessaires à l'élaboration du projet;
- Le budget *a minima* nécessaire au lancement de la voie est estimé selon une fourchette dans une gamme logarithmique, à savoir :
 - Inférieur à 10 000 euros;
 - Entre 10 000 et 100 000 euros;
 - Entre 100 000 et un million d'euros;
 - Supérieur à 1 million d'euros.

Ce paramètre devra faire l'objet d'une évaluation plus précise à l'avenir.

- Les différentes contraintes et limites sont également évoquées, qu'elles soient actuelles comme futures et accompagnées, lorsque c'est possible de recommandations pour les contrer ou les limiter;
- Enfin, l'état d'avancement et les ressources disponibles font référence au stade dans lequel se trouve le projet ainsi que les personnes ou structures pouvant être sollicitées dans sa mise en œuvre ou sa gestion.

4.3. Résumé des voies de valorisation identifiées

Un résumé des voies d'utilisation et valorisation considérées (Annexe 2) est présenté en tableau 4.1. La profondeur de l'analyse est contrastée entre les différentes voies du fait du caractère inédit ou existant des propositions et donc de la documentation associée. Cependant, les renseignements sont tout de même suffisants pour donner un aperçu de chaque piste et permettre leur évaluation.

Tableau 4.1 : Synthèse des voies d'utilisation et de valorisation des données de SC proposées

VOIES	DESCRIPTION	PRÉREQUIS SCIENTIFIQUES	EXIGENCES TECHNIQUES	EXIGENCES ORGANISATIONNELLES	BUDGET	RÉSULTATS ET APPLICATIONS	CONTRAINTES ET LIMITES	AVANCEMENT ET RESSOURCES
DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE OU SUPRA-SPÉCIFIQUE								
Espèces emblématiques ou exogènes facilement identifiables	Accent sur des espèces emblématiques ou exogènes facilement reconnaissables jusqu'au niveau spécifique	Sélection des espèces d'intérêts pour les travaux de recherche	Fiches descriptives des espèces Plateforme de dépôt Ou rattachement à DORIS Géolocalisation des spécimens photographiés Mise à jour régulière (espèces exogènes)	Communication et sensibilisation des citoyens Relais locaux pour encadrement et ciblage autour des espèces régionales Scientifique pour la vérification des identifications Informaticien pour création plateforme	< 10 000 €	Approfondissement des connaissances sur les espèces ciblées Surveillance des espèces exogènes et du bon état écologique des communautés emblématiques Carte interactive des observations	Assurer les débouchés de données recueillies Perte spontanéité et opportunisme des participations	Existante en France et à l'international, mais à étendre à d'autres taxons («BioLit », « <i>Big Seaweed Search</i> »)
Identification automatique	Logiciel d'identification automatique de reconnaissance d'images	Analyse de logiciels similaires en botanique Détermination du système Sélection des groupes d'algues Banque d'images de référence	Algorithme d'appariement Indice de vraisemblance Tolérance aux erreurs et à la variation morphologique intraspécifique Plateforme <i>web</i> 2.0 collaborative	Taxonomiste Informaticien Concepteur de logiciel	> 1 M €	Identification par comparaison morphologique Exploitation des photographies de SC Applications diversifiées Outil de surveillance basé sur image	Mise à jour en continu Nécessite une forte ressource temporelle, humaine et financière Limites des critères morphologiques par phénomènes de convergence et plasticité	Innovant en phycologie Existant en botanique (Plant@net-IDENTIFY, IDAO, etc.)
Clé de détermination	Détermination taxonomique automatique par choix successifs de caractères morphologiques	Sélection des taxons Recensement des caractéristiques morphologiques Mise à jour et/ou réalisation des clés	Création des clés sous format interactif de choix successifs Illustrations d'accompagnement Interface <i>web</i> Tolérance aux erreurs	Taxonomiste Informaticien Concepteur de logiciel	[100 000; 1 M] €	Détermination des taxons observés Enrichissement et mise à jour de la floristique en phycologie SC participative en tant que levier pour la floristique	Clés incomplètes, fragmentées et archaïques Floristique non prioritaire Nécessite une forte ressource temporelle, humaine et financière Mise à jour en continu Limites des critères morphologiques Phénomènes de convergence et plasticité	Innovant en phycologie Existant en botanique (Tela Botanica)

Tableau 4.1 : Synthèse des voies d'utilisation et de valorisation des données de SC proposées (suite)

VOIES	DESCRIPTION	PRÉREQUIS SCIENTIFIQUES	EXIGENCES TECHNIQUES	EXIGENCES ORGANISATIONNELLES	BUDGET	RÉSULTATS ET APPLICATIONS	CONTRAINTES ET LIMITES	AVANCEMENT ET RESSOURCES
DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE OU SUPRA-SPÉCIFIQUE								
Identification générique	Identification des spécimens observés à l'échelle du genre, car plus accessible pour de nombreux taxons	Liaison avec les chercheurs utilisant des données à l'échelle générique pour s'assurer de l'exploitation et utilisation de ces données	Fiches descriptives des genres observables en fonction de la zone marine Plateforme de dépôt ou hébergement par DORIS Vérification de l'identification Qualité de la photographie et géolocalisation Méthodes de photographies (prise de vue rapprochée, d'ensemble, etc.)	Phycologues Relais locaux Collaboration et avec DORIS et autre programme de SC collectant des photographies sur les algues Coordinateur de projet	< 10 000 €	Études à l'échelle générique (phylogénie, répartition, suivi, effet du changement global, etc.) Identification massive voir totale des photographies existantes et à venir Alimentation bases de données Possibilité d'identifier jusqu'à l'espèce par le scientifique si nécessité	Ne convient que pour les travaux réalisés à l'échelle générique Existents des difficultés de distinction inter-genre dans certaines familles phycologiques	Faisabilité immédiate
Collecte d'échantillons et <i>barcoding</i>	Solliciter le public à la collecte de tissu ou de <i>voucher</i> et envoi à des laboratoires de recherche pour leur identification	Cibler les groupes sous-étudiés ou peu collectés	Collecte accompagnée de photographies et géolocalisation des spécimens Matériel pour l'échantillonnage et la mise en place d'une collection de tissu	Détermination de la structure de recherche pour la réception et l'analyse moléculaire Encadrement par scientifiques de la collecte citoyenne Effort de sensibilisation pour les techniques d'échantillonnage et contre les excès de collecte ou le non-respect de la sélection	> 1 M €	Taxonomie moléculaire, analyses phylogénétiques et <i>barcoding</i> Multiplication des ressources pour la collecte de terrain et des découvertes opportunistes	Nécessité de libérer de la ressource de laboratoire (humaine, budget) pour le traitement de ces échantillons Nécessite que le citoyen acquière le matériel d'échantillonnage	Innovant

Tableau 4.1 : Synthèse des voies d'utilisation et de valorisation des données de SC proposées (suite)

VOIES	DESCRIPTION	PRÉREQUIS SCIENTIFIQUES	EXIGENCES TECHNIQUES	EXIGENCES ORGANISATIONNELLES	BUDGET	RÉSULTATS ET APPLICATIONS	CONTRAINTES ET LIMITES	AVANCEMENT ET RESSOURCES
DIVERSITÉ FONCTIONNELLE								
Biocénoses algales	Identification des biocénoses algales présentes sur les photographies	Catalogue de photographies illustrant la typologie de biocénoses	Qualité de la photographie Géolocalisation 3D de la prise de vue Détermination du format d'entrée des données Division régionale	Scientifiques pour la vérification et le traitement des données collectées Formation sur les prises de vues	[10 000; 100 000] €	Écologie des communautés Structure, diversité, fonctions et répartition des biocénoses Variabilité spatiale et temporelle	Dépendant de la qualité des photographies Photographie pas toujours fidèle à la réalité et complexité d'association du terrain	Innovant Équipes de recherche dédiées aux biocénoses
Traits fonctionnels	Extraction de caractères fonctionnels à partir de photographies et/ou d'observations de terrain	Sélection des traits fonctionnels accessibles au public et visibles sur photographies Analyse et sortie des données collectées Ontologie commune	Plateforme <i>web</i> 2.0 collaborative Guide d'accompagnement et tutoriel pour la détermination des traits (sur photographies et sur le terrain) Type de données intégrables aux bases de données concernées Indice de confiance en fonction de l'expertise du participant Format de données interoperables	Scientifiques pour la vérification et le traitement des données collectées	< 10 000€	Travaux sur la diversité fonctionnelle Alimentation de base de données collectant les traits fonctionnels	Applicable que sur certains traits	Innovant en SC sur les algues Projet de base de données de traits fonctionnels
Images satellites et cartographie	Traitement et identification sur images satellites de certains groupes d'algues	Cibler les communautés algales potentielles (Ceintures de fucus, forêts de laminaires, efflorescence d'ulves, etc.) Programmation et acquisition d'images satellites Traitement des images satellites avant diffusion	Plateforme de diffusion et de traitement des images satellites Création du système graphique pour le repérage des communautés algales Tutoriel	Scientifiques Cartographes Développeur de logiciel d'analyse numérique et graphique sur image	[100 000; 1 M] €	Alimentation des données de répartition Surveillance de phénomènes de prolifération Exploitation des nombreuses images satellites et alternative à la ressource scientifique Valorisation cartographique des données de SC	Vérification des identifications graphiques Mise en place lourde, mais possibilité de créer un relais français de programmes internationaux existants	Existant à l'international (« <i>Floating Forest</i> »)

5. ÉVALUATION DES PROPOSITIONS

À présent que les différentes voies potentielles d'utilisation et de valorisation des données de SC sur les algues dans les travaux scientifiques ont été décrites, il convient de les comparer et de les hiérarchiser, par le biais d'une analyse multicritères, afin de proposer des pistes d'orientation et de priorisation pertinentes.

5.1 Présentation de l'analyse multicritères et objectifs

L'analyse multicritère est un outil d'aide à la décision permettant de comparer et discriminer différentes solutions possibles pour une problématique donnée et de sélectionner celles qui sont susceptibles d'être les plus performantes dans le contexte d'application. Différentes méthodes existent, cependant le point d'orgue est de choisir celle qui semble la plus adaptée à un problème donné et dans un contexte spécifique (Caillet, 2003).

Les objectifs de cette évaluation sont donc de synthétiser les informations recueillies pour porter un jugement adéquat, de répondre aux besoins et attentes des différents acteurs tout en anticipant les résultats attendus et leur évolution susceptible pour enfin, sélectionner les projets les plus adéquats en tenant compte des composantes mises en avant.

Le processus consiste à considérer le projet en découpant l'attractivité et/ou l'importance qui lui est relative pour différents critères reflétant tous les aspects d'intérêt et ainsi, aboutir à une évaluation la plus objective et précise possible.

Une analyse multicritères est particulièrement indiquée dans la problématique de l'essai puisque, d'une part, les voies proposées sont très contrastées, que ce soit, par exemple, en matière de contraintes techniques, budgétaires, organisationnelles ou encore des résultats auxquels elles aspirent tant d'un point de vue social que scientifique. D'autre part, et comme il a été présenté précédemment, il est important de déterminer rapidement ce qui doit être mis en œuvre, étant donné la quantité existante des photographies sur les algues qui ne sont pas identifiées, et celle à venir. Une évaluation des pistes à prioriser est donc essentielle pour guider et concentrer les efforts sur les projets les plus pertinents et efficaces.

Cependant, la méthode adoptée reste spécifique au sujet présenté et l'attribution de la notation pour chaque voie, même si elle repose sur des éléments concrets mis en évidence au cours de leur analyse

(Annexe 2, chapitre 4), garde une partie de subjectivité marquée par la considération et la réflexion de l'auteure. La grille d'évaluation multicritères est présentée en figure 5.2.

5.2 Sélection des critères de discrimination

La sélection des critères est déterminante puisque c'est à travers eux qu'est guidée l'évaluation et le résultat final reflétera donc les réponses successives de chaque projet relativement à ceux-ci. Les différents critères choisis sont classés dans 3 grandes catégories, à savoir la pertinence stratégique, la faisabilité technique et la faisabilité organisationnelle. Ces trois catégories et les critères qu'elles couvrent sont inspirés de la méthodologie d'analyse et de priorisation d'actions proposée par Dedieu, chef de projet Agenda 21 (Dedieu, 2009), avec une réflexion, et une adaptation en fonction de la problématique et du cadre de cette analyse.

5.2.1 Pertinence stratégique

Ce critère traduit l'intérêt de la mise en place du projet tant au niveau de la sphère des sciences participatives que de l'univers scientifique, en considérant l'impact, les résultats et applications attendus. Il comprend deux sous-critères :

- CRITÈRE 1 : Cohérence des projets dans le contexte de la SC

Ce critère traduit la susceptibilité du projet à engendrer l'adhésion du public, par son attractivité et sa popularité, par son accessibilité et finalement par la communauté des participants visés (taille et diversité), par son ergonomie, par l'animation développée autour, notamment les retours individualisés possibles aux participants et donc l'habilité à procurer à ces derniers une légitimité et une reconnaissance de leur implication. En résumé, il s'agit de considérer la perspective de réussite du projet auprès du public puisqu'il est avant tout question de SC, et ainsi déterminer si la proposition peut être un levier pour développer ce concept autour des algues.

- CRITÈRE 2 : Impacts et pertinence scientifiques

En parallèle, il est également essentiel de soulever l'adhésion et l'implication des chercheurs dans l'exploitation des données issues de sciences participatives. C'est pourquoi les projets sont également évalués sur leurs apports scientifiques (et donc implicitement sur la qualité des données et la capacité à les exploiter), la gamme d'applications scientifiques pouvant être émises de ces derniers, et de manière générale, leur pertinence pour le domaine de la recherche autour de la diversité des algues. D'autres questions sont posées à travers ce critère : les objectifs scientifiques du projet sont-ils clairs? Les projets peuvent-ils être sources de changement dans l'utilisation des données de SC par la recherche? Peuvent-

ils par leur caractère innovant ou approfondi d'une thématique être susceptibles de séduire des chercheurs qui utiliseraient la démarche participative pour alimenter leurs travaux? Sont-ils cohérents avec la stratégie et les priorités de recherche actuelle relative à la psychologie?

5.2.2 Faisabilité technique

Ce critère considère essentiellement l'aspect technique du projet pour les modalités associées à sa mise en place, qu'elles soient technologiques, budgétaires, ou encore temporelles. Il se découpe en quatre sous-critères :

- CRITÈRE 1 : Exigence technique ou technologique

Ce critère couvre les différentes contraintes en termes d'équipements et matériels nécessaires, de technologies à mettre en place, et de l'expertise et des compétences spécifiques à soulever.

- CRITÈRE 2 : Ressources existantes

Ce critère s'intéresse aux ressources techniques et technologiques disponibles pour appuyer et accompagner la mise en œuvre du projet. Le concept, le système, la technique ou la technologie à l'appui du projet existent-ils déjà? Sont-ils fonctionnels, robustes et reproductibles? Leur transfert ou adaptation est-il envisageable pour soutenir le projet? S'il s'agit de systèmes ou méthodes scientifiques complexes et stricts, sont-ils adaptables et applicables à des données de science citoyenne?

- CRITÈRE 3 : Exigence financière

Ce critère cible l'aspect financier du projet en interrogeant le budget à investir au départ puis sur le long terme (coûts de fonctionnement, rémunération des responsables, etc.). Il est aussi question de savoir s'il permet la compensation d'un investissement financier de la part de la recherche (en diminuant sur le long terme les ressources scientifiques temporelles, humaines et donc financières); dans quelle mesure le projet dans sa visée participative permet-il sur le long terme d'alléger les coûts de recherche par le biais de la collecte, du traitement des données et de l'identification associés qui sont issus d'actions collectives et puisent dans la ressource citoyenne? Ou à l'inverse, quel est l'investissement budgétaire supplémentaire devant être investi par la structure de recherche ou porteuse de projet?

- CRITÈRE 4 : Exigence temporelle

Ce critère questionne sur le délai nécessaire à l'élaboration et la mise en fonctionnement de la voie proposée. Implicitement sont considérées les contraintes temporelles quant à la création du système ou de la technologie s'ils sont inédits, ou celles ayant trait à l'adaptation ou l'extension de ceux qui existent déjà.

5.2.3 Faisabilité organisationnelle

Ce dernier critère cible l'organisation nécessaire à la mise en place et au fonctionnement du projet une fois initié. Il est en effet important de mesurer si les ressources et la logistique sont disponibles et suffisantes pour la réalisation du projet et de déterminer les contours organisationnels de sa mise en œuvre. Le critère englobe trois sous-critères :

- CRITÈRE 1 : Compétences et ressources humaines (RH) disponibles

Ce critère renvoie aux compétences et ressources disponibles tant au niveau scientifique que social (structure responsable du programme de SC). Respectivement, la voie dispose-t-elle de chercheurs disposés à exploiter et valoriser les données collectées? Existe-t-il une structure responsable (associative, institutionnelle, etc.) susceptible de prendre en charge la coordination et l'animation autour des nouvelles voies proposées? Quelle marge de manœuvre et de médiation est accessible entre ces deux acteurs. Enfin, le projet proposé est-il dépendant du développement d'un programme de SC (création d'un nouveau ou extension d'un existant à l'international)?

- CRITÈRE 2 : Portage technique et scientifique

Le critère de portage renvoie aux dimensions de gestion, de reproduction, voire de déclinaison du projet à différentes échelles, et notamment au niveau local, par des structures ou organisations annexes afin de donner davantage de portée et de visibilité au projet. Il s'agit également de mesurer la légitimité et la performance des potentiels porteurs de projet afin de pressentir le succès attendu.

- CRITÈRE 3 : Perspectives de partenariat et collaboration

À travers ce dernier critère, il s'agit d'évaluer si le projet peut faire naître des collaborations et partenariats entre différents acteurs, voire solliciter l'implication de structures partenariales déjà existantes et pouvant être impliquées dans le portage du projet.

5.3 Méthodologie de notation

Une fois les critères identifiés, il convient de définir l'échelle de notation à appliquer, la pondération des différents critères en fonction de leur importance respective pour la problématique en question, ainsi que la valeur seuil discriminant les projets à prioriser de ceux non prioritaires.

5.3.1 Notation

Chaque critère reçoit une note entre 1 et 4 qualifiant son importance en fonction de la discrimination positive ou négative qui lui est spécifique. Suite à l'application de différentes méthodes, cette échelle de

notation semble la mieux adaptée pour discriminer de manière pertinente les valeurs contrastées pour chaque critère, relatives aux différents projets proposés. Le détail de cette notation est présenté en figure 5.1.

Une note de 1 à 4 est donc attribuée à chaque projet en fonction de sa place sur l'échelle d'attractivité relative au critère en question.

Tableau 5.1 : Échelle de notation appliquée à la grille multicritères

CATÉGORIES	CRITÈRES	DISCRIMINATION	VALEUR			
			4	3	2	1
Pertinence stratégique	Cohérence en SC	Positive	Très forte	Forte	Moyenne	Faible
	Impact scientifique	Positive	Très fort	Fort	Moyen	Faible
Faisabilité technique	Exigence technique et technologique	Négative	Faible	Moyenne	Importante	Très importante
	Ressources disponibles	Positive	Très importantes	Importantes	Moyennes	Faibles
	Exigence financière	Négative	Faible	Moyenne	Importante	Très importante
	Exigence temporelle	Négative	Faible	Moyenne	Importante	Très importante
Faisabilité organisationnelle	RH et compétences disponibles	Positive	Très importantes	Importantes	Moyennes	Faibles
	Portage technique et scientifique	Positive	Très fort	Fort	Moyen	Faible
	Perspectives de partenariat et collaboration	Positive	Très importantes	Importantes	Moyennes	Faibles

5.3.2 Pondération

Une pondération a été appliquée afin de donner un poids supérieur à certains critères selon la position de leur considération sur une échelle d'importance pour l'évaluation en fonction de la problématique de l'essai. Ainsi, les deux critères de la catégorie « pertinence stratégique » apparaissent primordiaux et sont associés à une pondération de 20 % puisque, d'une part, étant question de l'univers de la SC, le critère de cohérence avec le concept est donc essentiel pour considérer l'emprise sociétale intégrée dans les projets. D'autre part, la problématique étant de promouvoir l'utilisation et la valorisation scientifique de l'essai, le critère d'impact et de pertinence scientifique, est au même niveau, d'importance. Ces deux critères présentent donc une place majeure pour l'adoption d'une décision judicieuse et porteuse.

Par ailleurs, la complexité des projets, des points de vue technique et temporel, est majeure à considérer et la pondération attribuée aux critères « exigence technique et technologique » et « exigence temporelle » est donc majorée à 15 %. Quant au budget et dans le contexte actuel, il est important que les propositions soient financièrement raisonnables, d'où une pondération de 10 % pour le critère « exigence financière ».

Enfin, les autres critères se voient attribuer une pondération équivalente de 5 %, en notant tout de même que, si leur considération possède un poids plus faible face aux critères précédents, ils ont bel et bien leur place dans l'analyse par l'importance d'être pris en compte, mais également leur pouvoir discriminant.

5.3.3 Interprétation de la valeur finale

La valeur finale obtenue est donc la somme des notes sur 4 obtenues pour chacun des critères selon l'échelle de notation et affectées de la pondération relative. Le total étant sur 4, l'échelle d'évaluation peut paraître restreinte et c'est pourquoi les chiffres décimaux ont toute leur importance dans l'interprétation de la valeur finale.

Les projets recevant une valeur supérieure à 2,5 sont alors considérés « à prioriser ». Ceux recevant une valeur inférieure ou égale à 2,5, sont alors placés en tant que « non-prioritaires ».

5.4 Résultats de l'analyse multicritères et discussion

Au regard de l'analyse des différentes voies considérées (Chapitre 4), l'évaluation multicritères suivante aboutit au résultat suivant (Figure 5.2)

Tableau 5.2 : Grille d'analyse multicritères des voies proposées

Voies	Pertinence stratégique		Faisabilité technique				Faisabilité organisationnelle			Valeur / 4	À prioriser (>2,5)
	Cohérence en SC	Impact scientifique	Exigence techniques et technologiques	Ressources existantes	Exigence financière	Exigence temporelle	RH et compétences disponibles	Portage technique et scientifique	Perspectives de partenariat et collaboration		
Pondération	20%	20%	15%	5%	10%	15%	5%	5%	5%		
Ciblage espèces emblématiques et exogènes	4	2	4	4	4	4	4	4	3	3,55	OUI
Logiciel d'identification automatique	4	3	1	1	1	1	1	4	4	2,3	NON
Clé de détermination interactive	4	2	2	1	2	1	1	4	4	2,35	NON
Identification au niveau générique	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3,55	OUI
Collecte d'échantillons	3	4	1	1	3	1	1	1	1	2,2	NON
Biocénoses algales	4	2	3	1	3	3	3	3	3	2,9	OUI
Traits fonctionnels	3	3	3	1	4	3	3	3	4	3,05	OUI
Identification sur images satellites	3	3	2	3	2	2	2	3	3	2,55	OUI

L'évaluation multicritères permet de mettre en avant cinq projets sur huit en tant que voies « à prioriser », selon le barème adopté. Les valeurs finales de ces derniers sont cependant contrastées, avec deux projets qui se distinguent, « Ciblage des espèces emblématiques et exogènes » et « Identification au niveau générique », deux autres détenant des valeurs intermédiaires, « Traits fonctionnels » et « Biocénoses algales », puis le dernier, « Identification sur images satellites », qui se place à la limite du seuil de priorisation. Les trois projets apparaissant non prioritaires, « Logiciel d'identification automatique », « Clé de détermination interactive » et « Collecte d'échantillons », ne sont classés que faiblement en dessous de la valeur seuil. De manière générale, cela met en lumière l'intérêt de chacun de ces projets, puisque les valeurs des critères appartenant à la catégorie « Pertinence stratégique » sont toutes élevées et au final, même les voies qui n'apparaissent pas à prioriser restent assez proches de la valeur de sélection.

La discrimination des projets peut être considérée comme efficace puisque les valeurs finales s'inscrivent sur une échelle de plus de 10 points. Cependant, il est à noter que certains critères sélectionnés s'avèrent être interdépendants, ce qui peut apporter un certain biais dans l'évaluation, qu'il n'est pourtant pas possible d'éviter. En effet, il peut être remarqué que les projets les plus ambitieux en matière de technique et technologie affichent une valeur finale inférieure. La pondération du critère « exigence technique et technologique » (15 %) ne suffit pas à dévaloriser ces projets. Le fait est que plus la technique et la technologie sont complexes à mettre en place, plus le délai de réalisation sera long et plus les apports financiers devront être conséquents. Finalement, cela se répercute donc sur trois critères, et peut expliquer cette pénalisation des projets les plus ambitieux techniquement parlant.

S'il l'on regarde plus en détail, les projets arrivant en tête sont ceux qui possèdent des exigences techniques les plus faibles, applicables immédiatement (faible délai de réalisation) à partir des photographies dont dispose déjà la SC et ne présentant pas un fort coût de mise en place. Il s'agit notamment de « Ciblage des espèces emblématiques et exogènes », et « Identification au niveau générique ».

La voie « Traits fonctionnels » est également caractérisée par les paramètres précédemment cités, mais demande davantage de prérequis pour que le projet soit opérationnel.

De même, le projet « Biocénoses algales » demande un minimum de travail scientifique au préalable, avant de pouvoir être lancé. Les impacts et intérêts scientifiques ne présentent pas la même certitude que le projet précédent en matière de diversité fonctionnelle, ce qui lui vaut une valeur finale légèrement inférieure.

Quant au projet « Identification sur images satellites », il se trouve à la limite de priorisation puisqu'en effet, cela demande de fortes « exigences techniques et technologiques », mais étant une voie d'exploitation déjà employée à l'international (« *Floating Forest* »), ce critère est dans une certaine mesure compensé par le critère des « ressources disponibles », ce qui au final ne pénalise pas autant cette proposition que celles qui se classent en « non prioritaires ».

Le projet « Logiciel d'identification automatique » n'apparaît pas à prioriser du fait des nombreux efforts techniques, humains, temporels et financiers à fournir en amont avant de disposer d'un logiciel fonctionnel pouvant aider à la valorisation des données de SC sur les algues.

De même, la proposition « Clé de détermination interactive », demande des prérequis scientifiques imposants en termes de ressources humaines et temporelles pour la mise en commun, la capitalisation et la synthèse des informations pouvant alimenter les clés de détermination et les rendre fonctionnelles pour les groupes d'algues choisis.

Enfin, le projet « Collecte d'échantillons et *barcoding* », quant à lui, n'est pas prioritaire vis-à-vis des autres propositions compte tenu de son coût et des moyens matériels et humains nécessaires pour l'analyse des échantillons collectés par les citoyens.

Néanmoins, ces trois dernières propositions ont été analysées justement pour leur pertinence, leurs ambitieuses perspectives et leur portée scientifique et sociale et ne doivent en aucun cas être négligées, mais préparées pour une application différée.

6. PISTES D'ORIENTATIONS À PRIORISER

Ce chapitre cible plus particulièrement les voies de valorisation considérées comme « à prioriser » à l'issue de l'analyse multicritères, puis synthétise les caractéristiques sociales, scientifiques et de planification de projet propre à chacune.

6.1 Discussion sur les pistes sélectionnées et à prioriser

Tout d'abord, il est encourageant que la majorité des pistes à prioriser concerne l'intrant de données de type photographie. Cela met en évidence qu'une issue existe pour contrer ou détourner la difficulté d'identification des algues sur critères morphologiques et qu'il existe donc des solutions envisageables et des perspectives de valorisation de ces données de SC. De plus, sous le terme de photographies se cachent différents types de prise de vues et les voies mises en avant proposent alternativement la valorisation de photographies de type rapproché pour les projets « Ciblage d'espèces emblématiques et exogènes » et « Identification au niveau générique », mais également des prises de vues d'ensemble pour le projet « Biocénoses algales ».

En outre, d'autres pistes « à prioriser » renvoient à l'utilisation et la valorisation d'autres intrants de données, à savoir des observations et mesures de terrain associées aux photographies pour le projet « Traits fonctionnels » et des images satellites pour le projet « Identification sur images satellites ».

Quel que soit le type des données fournies par la SC, leur exploitation et leur valorisation scientifique ultérieure sont donc possibles, à condition que des moyens soient investis dans le développement de ces approches.

Néanmoins, un constat est mis en lumière par la présence d'une caractéristique commune pour la majeure partie des pistes sélectionnées, à savoir qu'une stratégie efficace et porteuse à adopter dès à présent est le développement de relais français à partir de programmes de SC internationaux. D'une part, cette démarche bénéficierait d'une coordination internationale, et d'autre part, l'exploitation des données qui en sont issues pour le territoire français étendrait l'échelle spatiale d'étude du programme de SC lui-même. Par ailleurs, pour ce qui est des outils à disposition, il est également pertinent d'utiliser, de s'inspirer ou d'adapter ceux qui existent déjà et qui peuvent être fonctionnels sur les algues.

Quoi qu'il en soit, ces propositions ne constituent qu'une première étape dans l'identification de valorisation potentielle des données de SC sur les algues. Dans les phases suivantes et préalables à leur mise en application, différentes étapes sont nécessaires : les pistes sélectionnées à l'issue de l'analyse multicritères nécessitent chacune une étude plus approfondie, par différents experts et acteurs,

provenant à la fois des domaines social et scientifique pour préciser les points mis en évidence, confirmer les perspectives et la vision donnée par l'auteure, mais également pour trouver des solutions allégeant, voire résolvant, les contraintes techniques et organisationnelles pointées (Annexe 2); les compétences et l'expertise requises doivent être définies pour désigner le profil du responsable de projet le plus adéquat; les structures partenaires ou de collaboration (institutions, associations, structures de recherche, etc.) doivent également être identifiées, pour assurer le partage de compétences, la productivité et l'efficacité du projet, mais également son portage. Certains partenaires potentiels sont identifiés dans la synthèse (cf. 6.2), mais il s'agit d'une liste envisagée et non exhaustive; il sera également question de rechercher les sources de financement pour l'élaboration, la mise en route et le maintien en fonctionnement du projet. Pour cela, différents partenaires financiers peuvent être sollicités, tels que des institutions, mécènes, ou autres dispositifs de financement présents à l'échelle régionale, nationale, européenne ou encore internationale.

Pour ce dernier point, si certaines pistes paraissent onéreuses (le critère « exigence financière » de l'analyse fait d'ailleurs défaut aux projets les plus innovants, alors classés « non prioritaires » comme « Logiciel d'identification automatique » et « Collecte d'échantillons et *barcoding* »), les coûts sont à relativiser, notamment si l'on considère le gain financier apporté par la SC, qui est estimé entre 678 523 et 4 415 521 euros par an (Levrel *et al.*, 2010). Actuellement, de nombreux programmes de recherche ne pourraient voir le jour du fait de manque de ressources financières sans la participation citoyenne et en cela, les projets de SC sont susceptibles de devenir primordiaux dans la gestion de la biodiversité mondiale (Boakes *et al.*, 2010; Goffredo *et al.*, 2010).

Ainsi, les voies proposées couvrent différents intrants de données, dont les photographies qui étaient sources de difficulté, et s'inscrivent dans les différents domaines d'études de la diversité sur les algues (présentés en chapitre 2). Elles sont donc susceptibles d'être des solutions pour l'alimentation de diverses disciplines avec des applications multiples, que ce soit pour des études taxonomiques, d'aire de répartition, de suivis spatio-temporels, de structure et fonction des écosystèmes, pour des projets de surveillance d'espèces invasives, de soutien à la protection et la conservation d'habitats ou encore pour l'évaluation des impacts du changement global sur la répartition et la composition des communautés algales.

6.2 Synthèse

Le tableau 6.1 constitue une synthèse des caractéristiques propres à chaque voie sélectionnée. Il rappelle les composantes sociales (Intrant de données et le public « source » pour la collecte des données, mais également « cible » pour le traitement de données) et scientifiques (domaine concerné et applications possibles). En terme de planification, les responsables et compétences associées pour mener le projet sont précisés, ainsi que les partenaires potentiels pouvant être sollicités. Les ressources disponibles sont également nommées. Enfin, une succincte chronologie des principales actions préalables est présentée pour chaque piste d'orientation.

Tableau 6.1 : Synthèse des caractéristiques relatives aux voies de valorisation à prioriser

VOIES	COMPOSANTES SOCIALES		COMPOSANTES SCIENTIFIQUES		RESPONSABLES	PARTENAIRES POTENTIELS	RESSOURCES	CHRONOLOGIE DES ACTIONS
	Intrant	Public	Domaine	Applications				
Ciblage espèces emblématiques et exogènes	Photographies	Captif : Plongeurs, usagers du littoral Tout public : Internautes Expert : Naturalistes, taxonomistes	Diversité spécifique	Taxonomie Répartition Écologie	Taxonomiste phycologues	MNHN Planète Mer Structures relais (« BioLit ») FFESSM	BioLit <i>Big Seaweed Search</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sélection des espèces 2. Réalisation des fiches d'espèces 3. Collaboration avec les structures relais 4. Création de la plateforme <i>web 2.0</i> collaborative
Identification au niveau générique	Photographies	Captif : Plongeurs, usagers du littoral Tout public : Internautes Expert : Naturalistes, taxonomistes	Diversité générique	Taxonomie supra-spécifique Répartition Écologie	Taxonomiste phycologues	DORIS FFESSM Laboratoires de recherche	Photographies présentes sur DORIS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Collaboration avec DORIS 2. Création de la plateforme <i>web 2.0</i> collaborative ou rattachement à DORIS 3. Fiches descriptives des genres observables par territoire 4. Tri des photographies existantes et acquisition des nouvelles
Biocénoses algales	Photographies	Captif : Plongeurs, usagers du littoral Tout public : Internautes Expert : Écologistes des biocénoses	Diversité des communautés et fonctionnelle	Écologie des communautés Structure et fonctions des écosystèmes	Spécialistes biocénoses benthiques	REBENT SPN Laboratoires de recherche sur les biocénoses benthiques	Typologie du SPN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Catalogue d'illustration des typologies de biocénoses algales 2. Collaboration avec les acteurs potentiels (SPN, REBENT) 3. Identification des chercheurs intéressés et porteurs de projets 4. Sélection de la méthodologie d'identification 5. Création de la plateforme <i>web 2.0</i> collaborative
Traits fonctionnels	Photographies et autres	Tout public : Internautes	Diversité fonctionnelle	Structure et fonctions des écosystèmes Réseaux trophiques	Spécialiste diversité fonctionnelle des algues	Chercheurs impliqués dans le projet de base de données de traits fonctionnels	Ontologie de la base de données de traits	<ol style="list-style-type: none"> 1. Création de l'interface d'interprétation des photographies 2. Application de l'ontologie unique 3. Création du tutoriel des traits 4. Récupération des photographies existantes (DORIS) et nouvelles
Identification sur images satellites	Images satellites	Tout public : Internautes	Diversité fonctionnelle	Écologie des communautés Répartition	Spécialiste imagerie satellitaire	Réseau des Stations et Observatoires marins (RESOMAR) REBENT Autres structures de recherche sur les communautés benthiques	Images satellites en provenance de SPOT5 « <i>Floating Forest</i> »	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identification des chercheurs intéressés 2. Collaboration avec « <i>Floating Forest</i> » pour technologie graphique et avec responsables d'images satellites pour l'acquisition des images 3. Sélection du traitement et méthodologie d'identification graphique 4. Création de la plateforme de diffusion et d'identification

7. RECOMMANDATIONS

Ce dernier chapitre dresse les recommandations concernant d'une part, les voies de valorisation des données sur les algues et d'autre part, le développement de la SC dans le domaine de la phycologie.

7.1 Recommandations pour les pistes d'orientation

Pour ce qui est des pistes de valorisation, la tendance ressortant de l'évaluation des voies proposées, est qu'il est pertinent de s'inspirer, d'étendre ou d'adapter des projets et des systèmes qui existent et fonctionnent déjà, notamment à l'international. Il serait en effet très judicieux et productif d'implanter le territoire français en tant que relais de nombreux programmes étrangers, car cette option est plus aisée en termes de moyens logistiques, techniques et financiers qu'une création intégrale d'un programme, mais également d'un point de vue scientifique, compte tenu de la diversité algale présente sur les côtes et pouvant susciter l'intérêt des scientifiques et porteurs des programmes en question. Par-dessus tout, les algues ne suivant pas les limites des frontières, leur dynamique est par conséquent transfrontalière, et une telle stratégie permet alors de capitaliser et d'analyser des données similaires sur un territoire dépassant les limites nationales.

Cependant, et justement parce que la France possède cette richesse algale et en règle générale, une biodiversité marine précieuse, la proposition des voies de valorisation inédites, voire innovantes, incluses dans cet essai, est tout aussi justifiée.

Deux stratégies d'orientations complémentaires peuvent alors être adoptées : la première consisterait en la capitalisation de l'« existant », tandis que la seconde encouragerait l'innovation.

La plupart des voies à prioriser visent à valoriser le support dominant qui ressort des programmes de SC sur les algues, à savoir les photographies et cela répond notamment à la problématique même de l'essai qui était d'étudier les pistes potentielles susceptibles de lever le verrou de l'identification des algues à partir des caractères morphologiques. Néanmoins, certaines voies proposées reconsidèrent l'intrant même des données ce qui est judicieux à la fois pour détourner le problème associé aux photographies, mais également pour proposer une diversification dans la collecte des participants et subséquemment des formes de valorisation scientifique alternatives. Plus encore, cela est également pertinent pour faire perdurer l'implication du public dans des travaux de recherche sur les algues, tout en ouvrant et développant ses connaissances sur d'autres disciplines scientifiques telles que l'écologie des communautés ou encore l'étude de la diversité fonctionnelle et est un pas de plus dans l'éducation et la sensibilisation de la société civile et ultimement dans la volonté de resserrer les liens entre la société et

la recherche. D'autant plus que ces disciplines, autres que la taxonomie, souvent méconnues du public, sont tout aussi nécessiteuses d'un renfort de ressources humaines et temporelles pour l'avancée et la faisabilité de certains travaux, notamment ceux visant une grande emprise spatiale et un suivi sur le long terme.

Par ailleurs, les algues ne sont pas les seules à faire l'objet de proposition quant à des collectes de données alternatives. L. Turcati, à l'issue de sa thèse, émettait d'ailleurs l'idée de créer en parallèle du programme Vigie-Flore, des projets autour de la diversité fonctionnelle des plantes (« Vigie-Trait ») ou encore autour de la phylogénie et du *barcoding* des espèces végétales par la collecte d'échantillons (« Vigie-code barre ») (Turcati, 2011).

Ces propositions sont donc à explorer et approfondir en conservant dans les pistes d'orientations adoptées, cette gamme diversifiée tant pour les intrants de données que pour les domaines de valorisation et d'application scientifiques.

En outre, il apparaît nécessaire de rassembler les acteurs autour des voies proposées, notamment celles à prioriser dans l'immédiat, mais également dans l'évaluation de la faisabilité des pistes plus complexes non prioritaires. Il est en effet indispensable d'évaluer la motivation des communautés, tant scientifique que citoyenne, prêtes à s'investir dans tel ou tel projet proposé, car il s'agit là d'une condition incontournable à sa réussite.

Au-delà du lancement des pistes proposées, il est évident d'encourager la poursuite des programmes nationaux sur les algues existants (« Les herbonautes », « BioLit », etc.), et de poursuivre une sensibilisation du public pour solliciter sa participation pour des thématiques sur les algues.

De plus, et même si cela n'a pas fait l'objet d'une proposition dans le cadre de cet essai, la création d'une base de connaissance sur les algues, à l'image de *l'interactive Knowledge Base System (IKBS)* pour les coraux ou encore de Xper² pour d'autres groupes, est une réflexion d'importance majeure qui doit être menée par les phycologues. Les données sur les algues sont en effet caractérisées par leur dissémination, leur hétérogénéité et l'absence d'une adoption de sémantique unique (malgré qu'une ontologie ait été créée par les porteurs de projets de la base de données de traits (Robuchon *et al.*, s. d.; Le Gall, 2015b)) qui ralentissent, voire obèrent, toutes tentatives de travaux collaboratifs à une échelle mondiale.

Quant aux voies « non prioritaires », elles ne sont pas à rejeter catégoriquement, au contraire, elles sont également intéressantes à considérer malgré leur lourdeur sur le plan des moyens matériels, humains,

temporels et financiers. Néanmoins, l'initiation de travaux en leur sens, pour prévoir leur mise en place, ne serait que porteuse, tant du côté scientifique que social. Il conviendrait alors de réaliser des analyses de faisabilité plus approfondies. Cela est notamment indispensable pour la proposition « Logiciel d'identification automatique » puisqu'aucune évaluation d'analyse assistée par ordinateur n'a été réalisée sur les algues.

Par ailleurs, les projets « Logiciel d'identification automatique » et « Clé de détermination interactive » sont fonction d'un rassemblement des connaissances et d'expertises diversifiées, relevant autant de la taxonomie que de l'informatique. Sonder l'opinion et la possibilité d'implication future de ces différents acteurs pour ces projets est donc indispensable avant d'approfondir les études de faisabilité. Au-delà, cela implique que ces voies soient caractérisées et portées par un consortium de spécialistes divers pour l'investissement de compétences et connaissances complémentaires : le partage des données et travaux respectifs pour les taxonomistes et la création de bases de données collaboratives sous-jacentes, et la déclinaison informatique et Internet pour les informaticiens et concepteurs.

7.2 Recommandations générales

De manière générale, certaines recommandations sont à émettre au sujet du développement de la SC autour des algues. Pour assurer le succès de programmes qui y seraient dédiés, comme pour tout programme de SC, il est important d'adopter le modèle gagnant-gagnant pour satisfaire les deux parties impliquées, la société comme la communauté scientifique : pour les chercheurs, par l'obtention de données non accessibles auparavant et alors disponibles en quantité et qualité par le biais de la SC; pour le public, par l'approfondissement de connaissances naturalistes, l'apprentissage de protocole et méthodes scientifiques tout en recevant une reconnaissance de la part des chercheurs pour le travail fourni.

D'autres caractéristiques également pointées à travers cet essai sont importantes à préciser pour favoriser le développement et la productivité des programmes de SC. Ces derniers ne sont fonctionnels que s'il existe une coordination et une animation scientifique associées et gérant l'organisation et le déploiement du projet aux différentes échelles considérées. Pour une valorisation des données de SC, il est primordial que le projet soit porté ou animé par des scientifiques. Leur implication, tant personnelle qu'institutionnelle, est une condition sine qua non de réussite du programme. Ils interviennent effectivement à tous les maillons de la procédure, que ce soit lors des apports (validité et fiabilité des données), de l'exploitation et l'utilisation dans les travaux de recherche, comme de la valorisation

scientifique, notamment par la visibilité des résultats (auprès des participants et de la société civile, mais également auprès de la communauté scientifique).

Pour le participant, un retour des observations effectuées lui permet de se sentir utile, et de recevoir une reconnaissance de son implication et est susceptible de le motiver davantage dans sa démarche. En effet, comme le mentionne M. Boeuf (2012), le citoyen des pays de culture latine se pose la question de l'utilité du projet de suivi et de l'utilité de sa propre implication dans ce suivi avant de s'y investir (Boeuf *et al.*, 2012). La communication est donc essentielle auprès du public pour faire connaître l'intérêt des programmes et auprès des responsables pour rappeler l'importance de la restitution aux participants. De même, la visibilité des résultats issus de ces données, notamment par des publications, est toute aussi cruciale.

Pour le futur des SC en France, le MNHN représente une institution incontournable pour le portage des programmes, voire la structuration de ces derniers, qui est d'ailleurs initiée à travers le PIA « 65 millions d'observateurs ». Pour ce qui a trait au domaine marin, l'AAMP représente également une institution de poids, mais les autres associations ont tout aussi un rôle complémentaire à jouer pour le futur des SC. Qu'il s'agisse des partenaires de SC (Planète Mer, Cybelle Méditerranée, Peau Bleue, etc.), des fédérations sportives (FFESSM et clubs affiliés), des relais locaux (CPIE, Observatoire du littoral, etc.) ou d'autres associations, notamment celles touchant à la botanique du littoral, tous ces acteurs doivent être consultés et impliqués pour définir la trame à suivre depuis les créations de projets de SC jusqu'à la maintenance de ceux existants, afin d'aboutir à un ensemble structuré, productif et surtout pertinent pour l'avancée des connaissances associées. Il est en effet important d'éviter une multiplication anarchique des projets au détriment de leur qualité et leur visibilité.

Parmi tous les acteurs considérés, il est une communauté de professionnels souvent oubliée, qui possède pourtant des connaissances écologiques locales (LEK) ou traditionnelles (TEK). Souvent sous-estimé, voire négligé, vis-à-vis des sciences classiques (Kelsey, 2003; Brook et McLachlan, 2008), ce savoir reprend progressivement sa place auprès des scientifiques notamment dans la pêche avec le projet de rassembler les scientifiques et gestionnaires dans un processus participatif et ainsi mettre en commun les expériences respectives et bénéficier de la capacité du professionnel de terrain à détecter les changements dans une échelle de temps courte (Huntington, 2000; Wiber *et al.*, 2009). Quid de la phycologie et des professionnels de cultures littorales ou de ramasseurs d'algues, qui peuvent également avoir un point de vue avisé et être les témoins directs de prolifération algale ou encore de changement

dans la quantité ou la composition algale des échouages? En cela, les travaux en sciences humaines sur la pratique de récolte des algues de rives menés par C. Garineau (doctorant au Musée de l'Homme) et K. Frangoudes (Unité de Recherche mixte Aménagement des Usages des Ressources et des Espaces marins et littoraux (UMR-AMURE)) seraient un premier tremplin pour initier une approche multidisciplinaire, qui, aussi complexe et hasardeuse soit-elle à mettre en place, serait une belle démarche à considérer et viendrait compléter la SC autour des algues.

Par ailleurs, l'intérêt porté par le public est une caractéristique obligatoire pour la réussite des programmes de SC. Or, comme précisé précédemment, les algues ne sont pas des organismes soulevant unanimement l'attrait ou l'intérêt du public. Le meilleur des programmes sur le plan scientifique ou éducatif ne pourrait être opérationnel s'il n'attire pas de participant. Il est donc une contrainte supplémentaire à considérer pour ce qui a trait aux programmes portant sur les algues : la sensibilisation et l'éclosion d'un intérêt, voire d'un émerveillement, du public avant d'envisager un quelconque succès pour le projet.

Pour terminer, il est important de préciser que la priorisation de ces voies à l'échelle nationale est dépendante de l'évolution du contexte de la recherche en France et en Europe, notamment des futures politiques scientifiques qui seront adoptées et la manière dont elles seront menées et reprises par les institutions. Par ailleurs, la position future des pays face au changement climatique sera tout aussi bien un potentiel moteur pour la SC, mais également les disciplines liées au domaine marin. La prochaine *Conference of the parties* (COP21) est susceptible de faire émerger des axes stratégiques qu'il sera pertinent de prendre en compte dans le sens où ils pourront favoriser le soutien de certains projets proposés dans cet essai.

CONCLUSION

Au cours de cet essai, l'intérêt a été porté sur la SC et notamment la place des algues en son sein et les perspectives de développement de programmes axés sur ces organismes, d'une part, et les opportunités pour affirmer l'exploitation et la valorisation des données qui en sont issues dans les domaines de la diversité des algues. Compte tenu de la faible représentation de la phycologie en SC et de la quasi-absence de publications scientifiques intégrant les données citoyennes, ce travail est donc pertinent pour analyser la situation actuelle et les facteurs expliquant ces constats, et alors proposer des pistes d'amélioration.

Le facteur limitant principal mis en évidence est la difficulté à identifier les algues sur la base de caractères morphologiques qui se répercute alors dans la faible utilisation des photographies de ces organismes, qui est l'intrant de données citoyennes principal pour la phycologie. L'objectif général de cet essai était donc de proposer différentes voies d'utilisation et de valorisation des données de SC sur les algues pour soulever cette problématique. À cette fin, différents objectifs spécifiques avaient été ciblés et ont été atteints à travers cet essai.

Tout d'abord, un état des lieux des programmes de SC portant sur les algues ou les incluant a été effectué, en y recensant des initiatives françaises et internationales. Cette prospection a été complétée par la mention de programmes en lien avec le domaine marin qui pourraient développer un volet sur les algues, ainsi que des programmes de botanique qui, faisant la part belle à la taxonomie, représentent des projets similaires dont la modalité et les applications sont importantes à considérer. Par ailleurs, un recensement des réseaux de SC pertinents à évoquer ainsi que des outils à disposition de la SC a également été réalisé afin d'étudier les technologies existantes et pouvant bénéficier aux démarches portant sur les algues. Cet état des lieux a alors permis d'analyser la situation actuelle, en relevant les différents leviers et freins relatifs aux programmes de SC et d'émettre des recommandations spécifiques aux différentes phases de mise en place d'une initiative.

De plus, différentes voies de valorisation et d'utilisation des données sur les algues provenant de SC ont été identifiées et décrites, en portant une attention particulière à ce qu'elles s'inscrivent et soient susceptibles d'alimenter les disciplines de la phycologie s'intéressant à la diversité des algues, qu'elle soit spécifique, supra-spécifique ou fonctionnelle.

Ensuite, des critères adéquats et relatifs à diverses caractéristiques sélectionnés en fonction de leur pouvoir de discrimination ont permis l'application d'une analyse multicritère pour évaluer les propositions et les hiérarchiser dans le but d'identifier celles à prioriser.

Enfin, des recommandations ont été émises pour les voies de valorisation et d'utilisation proposée, mais également sur le développement de la phycologie en SC.

Les majeures conclusions mettent en évidence qu'il existe des orientations pour surmonter les difficultés inhérentes à l'utilisation des photographies pour l'identification des algues observées en SC et pour diversifier l'implication du public à travers les différentes disciplines d'étude des algues. La mise en place des voies de valorisation proposées permettrait une plus large exploitation des données citoyennes par les scientifiques, à condition que ces derniers adhèrent au concept de SC et que des stratégies de validation et de vérification de l'effort des participants soient implantées. Par ailleurs, d'un point de vue social, la sensibilisation du public aux algues et aux enjeux associés reste primordiale dans un premier temps, pour recruter et solliciter son implication sur une thématique qui n'est pas unanimement attractive.

Ce dernier point est intéressant à développer, puisque comme le dit si bien Jacques-Yves Cousteau, ambassadeur de la plongée découverte : « Je suis un découvreur, mon but est d'émerveiller. On aime ce qui nous a émerveillé, et on protège ce que l'on aime ». Les scientifiques et chercheurs ont cette passion pour leur objet d'étude, mais ils sont souvent contraints à l'absence de considération sociale de leurs propos et actions, cette force de masse qui peut être portée par la société et les politiques. Ces dernières sont d'ailleurs liées, il n'y a qu'à constater le pouvoir que peut prendre la volonté sociale pour changer les choses par elle-même et être intégrée dans les processus décisionnels, notamment sur des questions de l'environnement marin, à travers des manifestations ou encore les actions de « *Surfrider* », « Gardiens de la côte » ou « *Surfers against sewage* ». Par l'implication de la société, il y a donc l'espoir non seulement de sensibiliser les populations et obtenir des voix massives pour la défense de la biodiversité par la prise en considération de cette dimension par les pouvoirs publics, mais également de faire basculer les politiques en faveur de problématiques environnementales. Il est encore temps de croire en un « *ocean spring* » (Teleki, 2012) à l'image du « printemps arabe » pour la protection voire la restauration du bon état écologique du milieu marin.

RÉFÉRENCES

- Agence pour la Recherche et la Valorisation marines (ARVAM) et Reef Check (2008). Les méthodes Reef Check Réunion. In Reef Check France. *Présentation. Programme. Méthode Réunion*.
http://www.reefcheck.fr/wp-content/pdf/2008-Methode_Reef_Check_Reunion.pdf?PHPSESSID=pionmnl400ck4ss08cqnl9gs4 (Page consultée le 28 mars 2015).
- Albert, C. H., De Bello, F., Boulangeat, I., Pellet, G., Lavorel, S. et Thuiller, W. (2011). On the importance of intraspecific variability for the quantification of functional diversity. *Oikos*, vol. 121, p. 116-126.
- Algaebase (s. d. a). Class : Ulvophyceae. In Algaebase. *Taxonomy browser*
<http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=4357&-session=abv4:D4C66F780c80f25A8AYy9418D6E5> (Page consultée le 28 mai 2015)
- Algaebase (s. d. b). Phylum : Rhodophyta. In Algaebase. *Taxonomy browser*
<http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=97240&-session=abv4:D4C66F780c80f25A8AYy9418D6E5> (Page consultée le 28 mai 2015)
- Algaebase (s. d. c). Class : Phaeophyceae. In Algaebase. *Taxonomy browser*
<http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=4360&-session=abv4:D4C66F780c80f25A8AYy9418D6E5> (Page consultée le 28 mai 2015)
- Algaebase (s. d. d). Images. In Algaebase. *Image search*. <http://www.algaebase.org/search/images>(Page consultée le 28 mai 2015)
- Anadon, M. et Savoie-Zajc, L. (2007). La recherche-action dans certains pays anglo-saxons et latino-américains. In Anadon, M. (2007). *La recherche participative, multiples regards* (p. 11-28). Québec, Presses de l'Université du Québec.
- Andrefouët, S., Kramer, P., Torres-Puliza, D., Joyce, K. E., Hochberg, E. J. et Garza-Perez, R. (2003). Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Remote Sensing of Environment*, vol. 88, p. 123-143.
- Ar Gall, E., Le Duff, M., Hily, C., Maguer, M., Derrien, S. et Le Gal, A. (2010). Approche stationnelle : intertidal et subtidal rocheux. Support de présentation pour les Journées REBENT, 2^e atelier de restitution REBENT Bretagne, Brest, 13 et 14 octobre 2010. In REBENT. *Documentation. Exposés et posters* http://www.rebent.org//medias/documents/www/contenu/documents/3-3_ArGall_et_al_Intertidal_Subtidal_Rocheux_13Oct2010_JRbt.pdf (Page consultée le 20 mai 2015).
- Arnal, C. (18 mai 2015). *Programmes plongeurs*. Courrier électronique à Laura Lagourgue, adresse destinataire : lagourgue.l@gmail.com
- Association des plongeurs naturalistes de Normandie (2012). *Inventaire de la flore et de la faune sous-marines de l'archipel de Chausey*. 143 p.

- Ballesteros, E. (2006). Mediterranean coralligenous assemblages : a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology : An annual Review*, vol. 44, p. 123-195.
- Barroux, R. (2015). Le réchauffement climatique va bouleverser la biodiversité marine. *In Le Monde. Planète. Biodiversité*. http://www.lemonde.fr/biodiversite/article/2015/06/01/le-rechauffement-climatique-va-bouleverser-la-biodiversite-marine_4645108_1652692.html (Page consultée le 5 juin 2015)
- Bartsch, A., Trofaier, A. M., Hayman, G., Sabel, D., Schlaffer, S., Clark, D. B. et Blyth, E. (2012). Detection of open water dynamics with ENVISAT ASAR in support of land surface modelling at high latitudes. *Biogeosciences*, n° 9, p. 703–714.
- Base pour l'Inventaire des Observations subaquatiques (BioObs) (2013). BioObs-Mode d'emploi. *In BioObs. Tutoriels. Tutoriels MS. PowerPoint* <http://bioobs.fr/tutoriels/tutorielsp/> (Page consultée le 8 avril 2015).
- Bauer, A. (2010). Sciences participatives et biodiversité : Implication du public, portée éducative et pratiques pédagogiques associées. *In Les livrets de l'IFRÉE*, n° 2, 110 p.
- Beck, U. (2003). *La société du risque*. Édition Flammarion, Paris.
- Bender, D., Diaz-Pulido, G. et Dove, S. (2014). The impact of CO₂ emission scenarios and nutrient enrichment on a common coral reef macroalga is modified by temporal effects. *The Journal of Phycology*, n° 50, p. 203-215.
- Béoutis, A., Jean, P. et Colas, S. (2004). L'observatoire du littoral : Démographie et économie du littoral. Dossier réalisé par l'Institut national de la Statistique et des Études économiques et le Service de l'Observation et des Statistiques (SoeS), 22 p.
- Bertin, M.-A. et Tanguay, S. (2014). La biodiversité. Communication orale dans le cadre du cours ENV-792 Valeur des écosystèmes et leur gestion, Centre universitaire de Formation en Environnement et développement durable (CUFE), Université de Sherbrooke.
- BioLit (s. d.) Fiche d'observation BioLit- Programme national de science participative sur la Biodiversité Littorale. *In BioLit. Les observateurs du littoral. Actions. Algues brunes et bigorneaux* <http://www.biolit.fr/sites/default/files/Fiche%20d%27observation%20BioLit-%20Algues%20Brunes%20Bigorneaux.pdf> (Page consultée le 2 avril 2015).
- Boakes, E. H., McGowan, P. J. K., Fuller, R. A., Chang-Qing, D., Clark, N. E., O'Connor, K., et Mace, G. M. (2010). Distorted views of biodiversity : spatial and temporal bias in species occurrence data. *PLoS Biology*, vol. 8, n° 6, 11 p.
- Bocquet, B. (s. d.). Recherches participatives : première approche. *In Université Lille 1-Laboratoire Sciences, Sociétés, Cultures dans leurs évolutions (Scité)*. *Media* https://wikis.univ-lille1.fr/scite/_media/site/doc/bds/recherches_participatives.pdf (Page consultée le 10 février 2015)

- Boeuf, G. (2014). Les sciences participatives au Muséum- S'engager pour la nature. *Communiqué de presse*. Mars 2014. p. 3
- Boeuf, G., Allain, Y.-M. et Bouvier, M. (2012). L'apport des sciences participatives dans la connaissance de la biodiversité. Rapport remis à la ministre de l'Écologie, janvier 2012, 27 p.
- Bonhomme, P., Boudouresque, C. F., Bernard, G., Verlaque, M., Charbonne, E. et Cadiou, G. (2001). Espèces, peuplements et paysages marins remarquables de la Ciotat, de l'île Verte à la calanque du Capucin (Bouches du Rhône, France). Rapport publié par Gis Posidonie, Contrat RAMOGE & GIS Posidonie, 132 p.
- Bonnet, P. (3 juin 2015). *Demande de renseignements Plant@Net-IDENTIFY_ Identification des algues*. Courrier électronique à Laura Lagourgue, adresse destinataire : laura.lagourgue@gmail.com
- Boudouresque, C.-F. (2000). *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa racemosa* et les autres espèces introduites en Méditerranée : faut-il s'inquiéter ? In *Gis Posidonie*, Conférence organisée par le Comité du Vieux Marseille, Marseille, Mai 2000.
- Brook, R. K. et McLachlan, S. M. (2008). Trends and prospects for local knowledge in ecological and conservation research and monitoring. *Biodiversity and Conservation*, n° 17, p. 3501-3512.
- Byrnes, J. (2014). The Floating Forests Origin Story. In *Floating Forest*. *Archive*. August 2014. <http://blog.floatingforests.org/2014/08/> (Page consultée le 10 avril 2015).
- Caillet, R. (2003). Analyse multicritère : Étude et comparaison des méthodes existantes en vue d'une application en analyse de cycle de vie. In *Série Scientifique*. Montréal, Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations (CIRANO), 52 p.
- Cavanaugh, K. (2014). Where are we getting these images? In *Floating Forest*. *Archive*. August 2014. <http://blog.floatingforests.org/2014/08/26/where-are-we-getting-these-images/> (Page consultée le 30 mai 2015).
- Cavanaugh, K., Siegel, D., Reed, D. et Dennison, P. (2011). Environmental controls of giant-kelp biomass in the Santa Barbara Channel, California. *Marine Ecology Progress Series*, vol. 429, p. 1-17.
- Cerrano, C., Bertolino, M., Betti, F., Palma, M., Pantaleo, U., Previati, M., Rossi, G., Scinto, A., Turicchia E., Valisano, L. et Ponti, M. (2010). An overview of the worldwide involvement of SCUBA diver volunteers in scientific research programs. In *Italiano, F., Second international systems of Research in shallow marine and fresh water systems* (p. 25-26), 2^e international workshop, Milazo, Italie, 3-10 octobre 2010.
- Citizen Science Alliance (s. d.). *Our projects*. In *Citizen Science Alliance*. *Projects*. <http://www.citizensciencealliance.org/projects.html> (Page consultée le 12 février 2015).
- Citizen Science Statistiques (CiSStats) (s. d.). Objectifs. In *CiSStats*. *Accueil*. *Objectifs*. <http://informatique-mia.inra.fr/cisstats/objectifs> (Page consultée le 15 avril 2015)

Code de l'environnement, 2010, art. 127-1

Conrad, C. et Hitchley, K. (2011). A review of citizen science and community-based environmental monitoring : issues and opportunities. *Environment Monitoring Assessment*, n° 176, p. 273-291.

Convention sur la Diversité biologique (CDB) (1992a), Nations-Unies, 1992, art. 2.

Convention sur la Diversité biologique (CDB) (1992b), Nations-Unies, 1992, art. 7.

Convention sur la Diversité biologique (CDB) (1992c), Nations-Unies, 1992, art.13.

Cook, G. (2012). Devenez citoyen-chercheur. *Courrier International*, n° 1113
<http://www.courrierinternational.com/article/2012/03/01/devenez-citoyen-chercheur> (Page consultée le 18 février 2015).

Cornwell, W. K., Schwilk, D. W. et Ackerly, D. D. (2006). A trait-based test for habitat filtering : convex hull volume. *Ecology*, vol. 6, n° 87, p. 1465-1471.

Cotonnec, A., Gouéry, P., Mokrani, M., Fournier, J., Anselme, B., Dréau, A., Dubreuil, V., Panizza, A. et Talec, P. (2005). Utilisation de données SPOT5 pour la cartographie des habitats benthiques littoraux. Application à l'archipel des îles Chausey (golfe normand-breton, France). *Norois*, n° 196, p. 37-50.

Couvet, D. et Teyssède, A. (2013). Sciences participatives et biodiversité : de l'exploration à la transformation des socio-écosystèmes. *Cahiers des Amériques latines*, p 49-64.

Cybelle Planète (2012). Livret du contributeur. In Cybelle Méditerranée, *sciences participatives en mer. Le programme. Les protocoles* http://www.cybellemediterranee.org/wp-content/themes/twentyeleven/documents/2012_livret_contributeur.pdf (Page consultée le 20 mars 2015).

Dailianis, T. (15 mai 2015). *Information request about CIGESMED_WP5 Citizen Science*. Courrier électronique à Laura Lagourgue, adresse destinataire : lagourgue.l@gmail.com

Dasmahapatra, K. et Mallet, J. (2006). DNA barcodes : recent successes and future prospects. *Heredity*, n° 97, p. 254-255.

Debat, V (s. d.). Plasticité phénotypique : bases génétiques et développementales, implications évolutives. In Vincent Debat Homepage. *Teaching. Analyzing phenotypic variation : from micro to macro-evolution* <http://www.evomorphy.com/plasticit%E9.pdf> (Page consultée le 6 mars 2015)

De Bello, F., Lavorel, S., Albert, C. H., Thuiller, W., Grigulis, K. et Dolezal, J. (2011). Quantifying the relevance of intraspecific trait variability for functional diversity. *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 2, p. 163-174.

- Derrien-Courtel, S. et Le Gal, A. (2010). Suivi des fonds subtidaux rocheux (Flore et Faune). Poster de présentation pour les Journées REBENT, 2ème atelier de restitution REBENT Bretagne, Brest, 13 et 14 octobre 2010. In REBENT. *Documentation. Exposés et posters*
http://www.rebent.org//medias/documents/www/contenu/documents/4-3b_Derrien_et_al_Poster_Subtidal_Roches_Resultats_JRbt2010.pdf (Page consultée le 20 mai 2015).
- Diaz, S. et Cabido, M. (2001). Vive la différence : plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecology Evolution*, n° 16, p. 646–655
- Dijoux, L. (2014). *La diversité des algues rouges du genre Asparagopsis en Nouvelle-Calédonie : Approches in situ et moléculaire*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, Paris, France, 229 p.
- Doropoulos, C. et Diaz-Pulido, G. (2013). High CO₂ reduces the settlement of a spawning coral on three common species of crustose coralline algae. *Marine Ecology Progress Series*, n° 475, p. 93-99
- European Space Agency (ESA) (2009). La Terre vue de l'espace : efflorescence algale dans le Golfe de Gascogne. In ESA. *ESA in your country. France*
http://www.esa.int/fre/ESA_in_your_country/France/La_Terre_vue_de_l_Espace_Efflorescence_algale_dans_le_Golfe_de_Gascogne (Page consultée le 2 juin 2015).
- Fédération française d'Études et de Sports sous-marins (FFESSM) (s. d.). État des licences en 2014. In FFESSM. *Études et statistiques diverses. Année 2014*
<http://www.ffessm.fr/ckfinder/userfiles/files/pdf/divers/CONTROLE-LICENCE-COMITES-2014.pdf> (Page consultée le 29 mai 2015).
- Ferral, J. P. (14 avril 2015). *Information request about CIGESMED_WP5 Citizen Science*. Courrier électronique à Laura Lagourgue, adresse destinataire : lagourgue.l@gmail.com
- Fournier, J., Cotonnec, A., Anselme, B., Gouery, P., Talec, P., Panizza, C., Mokrani, M., Dreau, A. et Levot, M. (2004). *Premières évaluations SPOT5 pour la cartographie des habitats benthiques littoraux de l'Archipel des Chausey (Manche)*. Rapport final CNES, Toulouse, 94 p.
- Gallon, R., Robuchon, M., Leroy, B., Le Gall, L., Valero, M. et Feunteun, E. (2014). Twenty years of observed and predicted changes in subtidal red seaweed assemblages along a biogeographical transition zone : inferring potential causes from environmental data. *Journal of Biogeography*, n° 41, p. 2293-2306.
- Geoffroy, A., Le Gall, L. et Destombe, C. (2012). Cryptic introduction of the red alga *Polysiphonia morrowii* Harvey (Rhodomelaceae, Rhodophyta) in the North Atlantic Ocean highlighted by a DNA barcoding approach. *Aquatic Botany*, n° 100, p. 67-71.
- Gil-Diaz, T., Haroun, R., Tuya, F., Betancor, S. et Viera-Rodriguez, M. A. (2014). Effects of Ocean Acidification on the Brown Alga *Padina pavonica* : Decalcification Due to Acute and Chronic Events. *PLoS ONE*, vol. 9, n° 9, 9 p.
- Girard, J.-P. (2012). Sciences participatives. In THATCamp Paris 2012 : Non-actes de la non-conférence des humanités numériques (p 71-78). Édition Maison des sciences de l'homme, Paris.

- Giroux, M. (2011). La participation citoyenne, un outil pour mieux connaître la biodiversité : portrait nord-américain. Communication orale. Troisième rendez-vous de l'Accord Canada-France, Biodôme de Montréal, 22-26 mars 2011.
- Gitay, H. et Noble, I. R. (1997). *What are functional types and how should we seek them?* In Smith, T. M., Shugart, H. H. et Woodward, F. I. (eds). *Plant functional types. Their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 3-19.
- Goffredo, S., Neri, P., Orlandi, A., Pensa, F., Gagliardi, M. S. et Velardi, A. (2008). *Citizen education by involvement in marine biodiversity monitoring*. In International Technology, Education and Development Conference, Valencia, Espagne, 3-5 mars 2008.
- Goffredo, S., Pensa, F., Neri, P., Orlandi, A., Gagliardi, M. S., Velardi, A., Piccinetti, C. et Zaccanti, F. (2010). Unite research with what citizens do for fun : "Recreational monitoring" of marine biodiversity. *Ecological Applications*, n° 20, p. 2170-2187.
- Gosselin, M., Gosselin, F. et Julliard, R. (2010). L'essor des sciences participatives pour le suivi de la biodiversité : intérêts et limites. Entretien, Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN), Paris, septembre 2010. In *Politiques publiques et biodiversité*, n° 3, p. 76-83.
- Gouletquer, P., Gros, P. et Boeuf, G. (2013). *Biodiversité en environnement marin*. Éditions Quae, 207 p.
- Grenon, T. (2014). Les sciences participatives au Muséum- S'engager pour la nature. *Communiqué de presse*, mars 2014, p. 4.
- Guichard, B. (21 mai 2015). *Phycologie et Science participative*. Courrier électronique à Laura Lagourgue, adresse destinataire : lagourgue.l@gmail.com
- Hamel, G. (1924a). Quelques *Cladophora* des côtes françaises. *Revue Algologique*, n° 1, p. 168-174
- Hamel, G. (1924b). Floridées de France. II. *Revue Algologique*, n° 1, p. 427-457
- Hamel, G. (1930). *Chlorophycées des côtes françaises, volume 2*. Édition Wolf, 431 p.
- Hamel, G. (1931). *Phéophycées de France*. Édition Wolf, 431 p
- Hamel, G. (1975). *Floridées de France*. Édition Linnaeus Press, 239 p.
- Hebert, P., Cywinska, A., Ball, S. et de Waard, J. (2003). Biological identifications through DNA barcodes. *The Royal Society*, n° 270, p. 313-321.
- Hebert, P., Penton, E., Burns, J., Janzen, D. et Hallwachs, W. (2004). Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astraptes fulgerator*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 101, n° 41, p. 14812-14817.
- Hebert, P. et Gregory, T. (2005). The promise of DNA Barcoding for taxonomy. *Systematic Biology*, n° 54, p. 852-859.

- Huntington, H. P. (2000). Using traditional ecological knowledge in science: methods and applications. *Ecological Applications*, n° 10, p. 1270-1274.
- Irwin, A. (1995). *Citizen Science: A Study of People, Expertise and Sustainable Development*. Édition Psychology Press, 198 p.
- Johnson, M. T. et Stinchcombe, J. R. (2007). An emerging synthesis between community ecology and evolutionary biology. *Trends in Ecology Evolution*, n° 22, p.250-257.
- Joly, A., Goëau, H., Bonnet, P., Bakić, V., Barbe, J., Selmi, S., Yahiaoui, I., Carré, J., Mouysset, E., Molino, J.-F., Boujemaa, N. et Barthélémy, D. (2014). Interactive plant identification based on social image data. *Ecological Informatics*, n° 23, p 22-34
- Julliard, R. (s. d.). 65 millions d'observateurs : Programme d'investissement d'avenir. Appel permanent à projets pour le développement de la culture scientifique et technique et l'égalité des chances. Document d'application, 82 p.
- Julliard, R. (2010). Témoignage d'un acteur sur la spécificité et l'intérêt de ce type de programmes. In Bauer, A. (2010). Sciences participatives et biodiversité : Implication du public, portée éducative et pratiques pédagogiques associées (p 58-59). Les livrets de l'IFRÉE n° 2, 110 p.
- Kattge J., Díaz, S. Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Bönsch, G., Garnier, E., Westoby, M., Reich, P. B., Wright, I. J., Cornelissen, J. H. C., Violle, C., Harrison, S. P., Van bodegom, P. M., Reichstein, M., Enquist, B. J., Soudzilovskaia, N. A., Ackerly, D. A., Anand, M., Atkin, O., Bahn, M., Baker, T. R., Baldocchi, D., Bekker, R., Blanco, C. C., Blonder, B., Bond, W. J., Bradstock, R., Bunker, D. E., Casanoves, F., Cavender-Bares, J., Chambers, J. Q., Chapin, F. S., Chave, J., Coomes, D., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Dobrin, B. H., Duarte, L., Durka, W., Elser, J., Esser, G., Estiarte, M., Fagan, W. F., Fang, J., Fernández-Méndez, F., Fidelis, A., Finegan, B., Flores, O., Ford, H., et 80 autres auteurs (2011). TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology*, vol. 17, p. 2905-2935.
- Kelsey, E. (2003). Integrating multiple knowledge systems into environmental decision-making: two case studies of participatory biodiversity initiatives in Canada and their implications for conceptions of education and public involvement. *Environmental Values*, n° 12, p. 381-396.
- Kundasamy, L. (2014). Sciences participatives sur la biodiversité marine : État des lieux et perspectives de développement en Méditerranée. Publié par Planète mer, France, 102 p.
- Lafourcade, A. (2013). Sentinelles PM 2013. La Commission Bio du Comité Pyrénées-Méditerranée joue à fond les sciences participatives. In FFESSM PM. *Espace culturel. Environnement et biologie. Sentinelles articles*. <http://old.ffessmpm.fr/spip.php?rubrique316> (Page consultée le 10 avril 2015).
- Lafourcade, A. (2015). La Commission Bio du Comité Pyrénées-Méditerranée joue à fond les sciences participatives. In FFESSM PM. *La fédération. Espace culturel. Environnement et biologie. Sentinelles articles. Bilan des sentinelles PM 2014* <http://www.ffessmpm.fr/la-federation/espace-culturel/environnement-et-biologie/item/2105-bilan-des-sentinelles-pm-2014.html> (Page consultée le 10 avril 2015).

- Lange, K., Townsend, C. et Matthaei, C. (2014). *Trait-based ecology of stream algae: investigating multiple stressor effects in agricultural*. In *Water Symposium- Integration: "The final frontier"*, Centre de Convention de Marlborough, Nouvelle-Zélande, 24-28 novembre 2014.
- Laugier, F., Potier, M., Simier, M., Romanov, E., Bach, P., Ménard, F. et Méricot, B. (2011). Variation spatiale et temporelle de la diversité fonctionnelle. Support de présentation orale, Forum Association française d'Halieutique (AFH). In AFH. *Forums de l'AFH. Présentations*. http://halieutique.agrocampus-ouest.fr/afh/forum10/presentations/Laugier_et_al.pdf (Page consultée le 18 mars 2015).
- Lavorel, S., Grigulis, K., McIntyre, S., Williams, N. S. G., Garden, D. et Dorrough, J. (2008). Assessing functional diversity in the field – methodology matters! *Functional Ecology*, vol. 22, p. 134-147.
- LeBaron G. (2014). *The 114th Christmas Bird Count*. In Audubon. *Christmas Bird Count*. <http://www.audubon.org/content/114th-christmas-bird-count> (Page consultée le 1 mars 2014).
- Le Bourgeois, T. (2 juin 2015). *Concernant vos questions sur IDAO*. Courrier électronique à Laura Lagourgue, adresse destinataire : laura.lagourgue@gmail.com.
- Leclerc, V. et Floc'h, J. -Y. (2010). *Le secret des algues*. Édition Quae, Collection carnets de sciences, 167 p.
- Le Gall, L. (2015a). Discussion autour du sujet d'identification des algues sur caractères morphologiques. Communication orale. *Entrevue téléphonique menée par Laura Lagourgue à Line Le Gall, HDR MNHN-UPMC*, janvier 2015, Montpellier.
- Le Gall, L. (2015b). Projet collaboratif de base de données de traits. Communication orale. *Entrevue téléphonique menée par Laura Lagourgue à Line Le Gall, HDR MNHN-UPMC*, janvier 2015, Montpellier.
- Le Gall, L. (2015c). Discussion au sujet des voies de valorisation des données de science participative sur les algues. Communication orale. *Entrevue téléphonique menée par Laura Lagourgue et Line Le Gall, HDR MNHN-UPMC*, 29 mai 2015, Anglet.
- Legrand, M. (2013). « Vigie-Nature : sciences participatives et biodiversité à grande échelle ». *Cahiers des Amériques latines*, n° 72-73, p. 65-84.
- Le Pape, O. (2005). Les habitats halieutiques essentiels en milieu côtier : les identifier, comprendre leur fonctionnement et suivre leur qualité pour mieux gérer et pérenniser les ressources marines exploitées : l'exemple des nourriceries côtières de poissons plats. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Ifremer, Agrocampus Rennes, Université de Bretagne Occidentale, 78 p.
- Le Tellier, V. (2014). Le Système d'information sur la nature et les paysages et ses BDD. *Communication orale et support de cours*. Dans le cadre de l'unité d'enseignement Écologie : applications, Master 2 mention écologie-biodiversité, Université Montpellier II, le 8 octobre 2014.

- Levrel, H., Fontaine, B., Henry, P.-Y., Jiguet, F., Julliard, R., Kerribou, C. et Couvet, D. (2010). Balancing state and volunteer investment in biodiversity monitoring for the implementation of CBD indicators: A French example. *Ecological Economics*, n° 69, p. 1580-1586.
- Marine biological Association (MBA) (2015). Marine cards. *In*. The Shore Thing, *get involved in the intertidal recording. Ressources.*
http://www.mba.ac.uk/shore_thing/documents/Marine_cards_2015.pdf (Page consultée le 30 mars 2015).
- Marine biological Association (MBA) (2014). The shore thing survey recording form. *In*. The Shore Thing, *get involved in the intertidal recording. Ressources.*
http://www.mba.ac.uk/shore_thing/documents/2014_Survey%20form.pdf (Page consultée le 30 mars 2015).
- Marine biological Association (MBA) (2008). The Shore Thing - Survey procedure and protocol. *In* The Shore Thing, *get involved in the intertidal recording. Ressources.*
http://www.mba.ac.uk/shore_thing/documents/survey_protocol.pdf (Page consultée le 30 mars 2015).
- Marine Conservation Society (2014a). Seasearch observation form. *In* Seasearch. *Seasearch Recording.*
<http://www.seasearch.org.uk/downloads/obsform%2001-14web.pdf> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Marine Conservation Society (2014b). Seasearch survey form. *In* Seasearch. *Seasearch Recording.*
<http://www.seasearch.org.uk/downloads/survform01-14web.pdf> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Mathieu, D., Moreau A., Mouysset, E. et Roche, V. (2010). *Observons la nature : Des réseaux et des sciences pour préserver la biodiversité*. 1ère édition du livret des réseaux et des sciences citoyennes réalisé par Tela Botanica, 60 p.
- Mathieu, D., Mouysset, E., Picard, M. et Roche, V. (2012). Sciences participatives : dynamique des réseaux d'observateurs. *In* Tela botanica. Section Projets. *Sciences participatives. Documents*
http://www.tela-botanica.org/sites/projets/fr/documents/Mathieu_dynamique_2011_CG34_V1.pdf (Page consultée le 25 janvier 2015).
- Mazeas, F. (s. d.). Guide simplifié- Protocole Reef Check Guadeloupe. *In* Reef Check France. *Présentation. Programme. Méthode Guadeloupe.* http://www.reefcheck.fr/wp-content/pdf/2011-Methode_Reef%20Check_Guadelo.pdf (Page consultée le 28 mars 2015).
- Mellin, C., Parrott, L., Bradshaw, C. J. A., MacNeil, M. A. et Caley, J. (2012). Multi-scale marine biodiversity patterns inferred efficiently from image processing. *Ecological Applications*, vol. 22, p. 792-803.
- Michaud, Y. (2006). *Qu'est-ce que la diversité de la vie*. Collection Université de tous les savoirs, édition Odile Jacob, 416 p.

- Micheli, F. et Halpern, B.-S. (2005). Low functional redundancy in coastal marine assemblages. *Ecology Letters*, n° 8, p 391–400.
- Micheli, F., Saenz-Arroyo, A., Greenley, A., Vazquez, L., Espinoza Montes, J. A., Rossetto, M. et De Leo, G. (2012). Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. *PLoS ONE*, vol. 7, n° 7, 8 p.
- Michez, N., Bajjou, T., Aish, A., Andersen, A., Ar Gall, E., Baffreau, A., Blanchet, H., Chauvet, P., Dauvin, J.-C., De Casamajor, M.-N., Derrien-Courtel, S., Dubois, S., Fabri, M.-C., Houbin, C., Le Gall, L., Menot, L., Rollet, C., Sauriau, P.-G., Thiebaut, E., Tourolle, J. et Van den Beld, I. (2015). Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique Version 2. Rapport SPN 2015 - 45, MNHN, Paris, 61 p.
- Millerand, F., Heaton, L. et Proulx, S. (2011). Émergence d'une communauté épistémique : création et partage du savoir botanique en réseau. In Proulx, S. et Klein, A. (2001). *Connexions : communication numérique et lien social* (p. 253-265). Namur, Presses universitaires de Namur.
- Millot, G., Neubauer, C. et Storup, B. (2013). La recherche participative comme mode de production de savoirs : Un état des lieux des pratiques en France. Étude réalisée par la Fondation Sciences Citoyennes (FSC), 94 p.
- Mittermeier, R. A., Gil, P. R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J. et Da Fonseca, G. A. B. (2005). *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Édition Conservation International, 392 p.
- Molnar, J., Gamboa, R., Revenga, C. et Spalding, M. (2008). Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, n° 6, p. 485-492.
- Monceau, G. (2005). Transformer les pratiques pour les connaître : recherche-action et professionnalisation enseignante. In *Educação e Pesquisa*, vol. 31, n° 3, 16 p.
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B. et Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biol*, vol. 9, n° 8, 8 p.
- Morange, M. (2003). *Histoire de la biologie moléculaire*. Édition La Découverte, Collection La découverte Poche- Sciences humaines et sociales, 378 p.
- Mumby, P. J. et Edwards, A. J. (2002). Mapping marine environments with IKONOS imagery : enhanced spatial resolution can deliver greater thematic accuracy. *Remote Sensing of Environment*, vol. 82, p. 248-257.
- Munoz, F. (2011). Systématique et taxonomie. In Tela Botanica. *Projets. Pédagogie de la botanique. Documents* http://www.tela-botanica.org/page:liste_projets?id_projet=26&act=documents&id_repertoire=18728 (Page consultée le 15 mars 2015).

- Munoz, F. et Kéfi, S. (2014). Écologie des communautés. *Communication orale*. Dans le cadre de l'unité d'enseignement Écologie : fondamentaux et principes, 22 septembre 2014, Université de Montpellier, France.
- Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) (s. d.). Bordereau Vigie-flore. *In Vigie Nature, un réseau de citoyens qui fait avancer la science. Naturalistes. Vigie-Flore. Documents et outils*. http://vigienature.mnhn.fr/sites/vigienature.mnhn.fr/files/uploads/vf_BordereauVF.pdf (Page consultée le 10 avril 2015).
- Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) (2010). Protocole du programme Vigie-flore Observatoire de la flore commune. *In Vigie Nature, un réseau de citoyens qui fait avancer la science. Naturalistes. Vigie-Flore. Documents et outils*. http://vigienature.mnhn.fr/sites/vigienature.mnhn.fr/files/uploads/vf_ProtocoleVF.pdf (Page consultée 10 avril 2015).
- Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) (2014). Les sciences participatives au Muséum- S'engager pour la nature. *Communiqué de presse*. Mars 2014.
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (s. d. a). Présentation de l'ONB. *In NatureFrance. ONB*. <http://www.naturefrance.fr/onb/presentation-de-lonb> (Page consultée le 20 février 2015)
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (s. d. b). Le Collectif National Sciences Participatives-Biodiversité. *In NatureFrance. Sciences Participatives*. <http://www.naturefrance.fr/sciences-participatives/le-collectif-national-sciences-participatives-biodiversite> (Page consultée le 19 mars 2015).
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDDE) (s. d. c) Sciences participatives. *In NatureFrance. Sciences participatives. Annuaire des sciences participatives*. <http://www.naturefrance.fr/sciences-participatives> (Page consultée le 11 mars 2015).
- Natural History Museum (NHM) (s. d.). The Big Seaweed Search - Identification guide. *In NHM. Nature online. British Natural History. Big seaweed search*. <http://www.nhm.ac.uk/resources-rx/files/the-big-seaweed-search--36073.pdf> (Page consultée 26 mars 2015).
- Office québécois de la langue française (OQLF) (2002). Fiche terminologique « Ontologie ». *In OQLF. Le Grand dictionnaire terminologique* http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8361952 (Page consultée le 8 juin 2015)
- Office québécois de la langue française (OQLF) (2003). Fiche terminologique « bathymétrie ». *In OQLF. Le Grand dictionnaire terminologique* http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8359996 (Page consultée le 5 juin 2015)
- Office québécois de la langue française (OQLF) (2014a). Fiche terminologique « Phycologie ». *In OQLF. Le Grand dictionnaire terminologique*

- http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8487239 (Page consultée le 10 juin 2015)
- Office québécois de la langue française (OQLF) (2014b). Fiche terminologique «Science citoyenne». In OQLF. *Le Grand dictionnaire terminologique*.
http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26529714 (Page consultée le 20 février 2014)
- Office québécois de la langue française (OQLF) (2015). Fiche terminologique « mégadonnées ». In OQLF. *Le Grand dictionnaire terminologique*
http://www.granddictionnaire.com/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26507313 (Page consultée le 9 mars 2015).
- Ordóñez, A. Doropoulos, C. et Diaz-Pulido, G. (2014). Effects of ocean acidification on population dynamics and community structure of crustose coralline algae. *The Biological bulletin*, n° 226, p. 255-268
- Pachauri, R. K. et Reisinger, A. (Eds.) (2007). *Climate change 2007: Synthesis report*. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), Genève, Suisse. 104 p.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Pergent, G., Agreil, M., Skoufas, G., Sourbes, L. et Tsirika, A. (2005). Use of SPOT5 for mapping seagrasses : An application to *Posidonia oceanica*. *Remote Sensing of Environment*, n° 94, p. 39-45.
- Pattengill-Semmens C. V. (2001). Learning to see underwater. *Underwater Naturalist*, vol. 25, n° 4, p. 37-40.
- Payri, C. (s. d.). La taille et la forme des algues. In Institut de recherche pour le développement- Connaissance des milieux tropicaux et des sociétés : les atolls de Polynésie Française. *Éléments d'écologie récifale. La vie dans les récifs. Les algues. Forme et reproduction* <http://www.atolls-polynesie.ird.fr/ecorecat/algform.htm> (Page consultée le 8 mars 2015).
- Pernot, T. et Matthieu, D. (2010). Flora Bellissima, an expert software to discover botany and identify plants. In Nimis, P. L., Vignes-Lebbe, R. (eds.) (2010). *Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems* (p. 121-125). Actes du Congrès international, Muséum national d'Histoire naturelle – Grand Amphithéâtre, Paris, 20-22 Septembre 2010.
- Perrot, T., Ballu, S. et Dion, P. (2003). Évaluation du taux de couverture en fucales en zone intertidale à partir d'imagerie. In REBENT. *Suivi Habitat-Biodiversité. Estrans rocheux*.
<http://www.rebent.org/medias/documents/www/contenu//documents/FT08-2003-01.pdf> (Page consultée le 21 mai 2015).
- Perrot, T. et Mouquet, P. (2005). Cartographie de la couverture de fucales en zone intertidale. Centre d'Etude de la Valorisation des Algues (CEVA), 18 p.
- Petchey, O. - L. et Gaston, K.-J. (2002). Functional diversity (FD), species richness, and community composition. *Ecology Letters*, n° 5, p 402-411.

- Quod, J.-P. (s. d.). Coral Reef Monitoring : Un outil de suivi de l'état de santé des récifs coralliens. In Agence pour la Recherche et la Valorisation marines (ARVAM). *Programmes. CoReMo*. <http://www.arvam.com/IMG/pdf/CoReMo.pdf> (Page consultée le 20 mars 2015).
- Quod, J.-P. (2010). CoReMo3. *Atelier marin, vers un suivi optimal des lagons et récifs, l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie (OEIL)*, Université de Nouvelle-Calédonie, 25 au 29 octobre 2010.
- Rassweiler, A., Arkema, K. K., Reed, D. C., Brzezinski, M. A. et Zimmerman, R. C. (2008). Net primary production, growth and standing crop of *Macrocystis pyrifera* in southern California. *Ecology*, vol. 89, p. 2068
- Raven, P. H., Evert, R. H., Eichhorn, S. E. (2007). *Biologie végétale*. 2^e édition, édition De Boeck, 733 p.
- Régnier, C., Achaz, G., Lambert, A., Cowie, R. H., Bouchet, P. et Fontaine, B. (sous presse). Mass extinction in poorly known taxa. *PNAS*, vol. 112, n° 25, p. 7761-7766.
- Réseau des Observateurs en Plongée (ROP) (s. d.) Initiatives des mers. In ROP. *Initiatives recensées. Initiatives des mers françaises* <http://www.observateurs-plongee.fr/initiatives-recensees/mers-francaises.html> (Page consultée le 12 mars 2015).
- Revault, P. (2012). Vigie-Flore. *Lettre de l'École des Plantes de Paris*, août 2012, 10 p.
- Robuchon, M. (2014). *Étude spatio-temporelle de la biodiversité des forêts de laminaires des côtes bretonnes par une approche intégrée de génétique des populations et d'écologie des communautés*. Thèse de doctorat, Muséum nationale d'Histoire naturelle, Paris, France, 115 p.
- Robuchon, M., Valero, M., Gey, D. et Le Gall, L. (2015). How does molecular-assisted identification affect our estimation of α , β , and γ biodiversity ? An example from understory red seaweeds (Rhodophyta) of *Laminaria* kelp forests in Brittany, France. *Genetica*, vol. 143, n° 2, p. 207-223.
- Robuchon, M., Vranken, S., Vandepitte, L., Julliard, R., Le Gall, L. et De Clerck O. (s. d.). *Towards a seaweed trait database for European species*. Résumé de poster, Communication interne.
- Rogers, A. D. et Laffoley, D. (2011). *International Earth system expert workshop on ocean stresses and impacts*. Rapport dans le cadre de *The International Programme on the State of the Ocean (IPSO)*, 18 p.
- Roland, J.-C., El Maarouf Bouteau, H. et Bouteau, F. (2008). *Atlas de biologie végétale-Tome 1*. 7^e édition, édition Dunod, 152 p.
- Rouyer, A. (2008). Analyse spatiale et temporelle de la diversité fonctionnelle des communautés benthodémersales dans l'estuaire de la Vilaine entre 2000 et 2005. Stage de Master 2, Université de Pierre et Marie-Curie-DUEE, OEM- Ifremer de Nantes. Diaporama, 22 p.
- Schmeller, D. S., Henry, P. Y., Julliard, R., Gruber, B. Clobert, J., Dziock, F., Lengyel, S., Nowicki, P., Déri, E., Burdrus, E., Kull, T., Tali, K., Bauch, B., Settele, J., Van Swaay, C., Kobler, A., Babij, V.,

- Papastergiadou, E. et Henle, K. (2009). Advantages of volunteer-based biodiversity monitoring in Europe. *Conservation Biology*, n° 23, p. 307-316.
- Sedrati, M. et Maes, P. (2015). Protocoles de suivis de la dynamique des échouages des macro-algues et de leurs valorisations pour la protection du littoral Morbihannais. « Projet Littoralg ». In Réseau sciences marines participatives (RIEM). *Algobox, une mission pour le cordon dunaire. Cahier de protocoles RIEM* <https://riemassodotcom3.files.wordpress.com/2015/02/cahier-de-protocoles-riem.pdf> (Page consultée le 18 mars 2015)
- Semmens, B. X., Buhle, E. R., Salomon, A. K. et Pattengill-Semmens, C. V. (2004). A hotspot of non-invasive marine fishes: evidence for the aquarium trade as an invasion pathway. *Marine Ecology Progress Series*, n° 266, p. 239-244.
- Tanner, J. E., Mellin, C., Parrott, L. et Bradshaw, C. J. A. (2015). Fine-scale benthic biodiversity patterns inferred from image processing. *Ecological Complexity*, vol. 22, p. 76-85.
- Tela Botanica (s. d.). Clés de détermination en ligne. In Tela Botanica. *Botanique. Bibliothèque* http://www.tela-botanica.org/page:menu_379 (Page consultée le 22 mai 2015).
- Teleki, K. A. (2012). Power of the people? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 22, p. 1-6.
- Teyssèdre, A. et Couvet, D. (2011). Biodiversité et science participative. In Société Française d'écologie, R11. Article édité par A.-C. Prévot-Julliard, 8 p.
- Turcati, L. (2011) *Mesurer la biodiversité pour comprendre l'effet des perturbations sur les communautés végétales : apport des caractéristiques écologiques et évolutives des espèces*. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie-Paris IV, Paris, France, 263 p.
- Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I. et Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, n° 116, p. 882-892.
- Wiber, M., Charles, A., Kearney, J. et Berkes, F. (2009). Enhancing community empowerment through participatory fisheries research. *Marine Policy*, n° 33, p. 172-179.
- Wiggins, A., Newman, G., Stevenson, R.-D. et Crowston, K. (2011). *Mechanisms for Data Quality and validation in Citizen Science*. In *Computing for Citizen Science, IEEE eScience Conference*, Stockholm, Suède, Décembre 2011.

ANNEXE 1 - BASE DE DONNÉES DES PROGRAMMES, RÉSEAUX ET OUTILS DE SCIENCE PARTICIPATIVE RECENSÉS

Pour avoir accès à la base de données, veuillez contacter l'auteure à l'adresse suivante :
lagourgue.l@gmail.com

ANNEXE 2 - CIBLAGE D'ESPÈCES EMBLÉMATIQUES ET EXOGÈNES FACILEMENT IDENTIFIABLES AU NIVEAU SPÉCIFIQUE

Intrants : Photographies

Domaine : Diversité spécifique

- **Description du principe et objectifs :**

Le domaine marin français présente des espèces emblématiques aux yeux du public comme des scientifiques. Qui plus est, ces taxons possèdent une allure caractéristique permettant leur identification à partir des caractères morphologiques observables, directement sur le terrain ou sur photographie.

Des programmes ciblant de telles espèces sont déjà proposés sur le territoire français (« BioLit », et en partie DORIS) et à l'international (« *Big Seaweed Search* », « *Interdidal zone Watching NZ* »). Il pourrait donc être question d'étendre la liste d'espèces proposées par « BioLit » (6 espèces d'algues brunes) en reprenant les espèces intégrées dans les programmes étrangers (« *Big Seaweed Search* ») et présentes également sur les littoraux français. En constituant un relais à l'échelle du territoire, le projet bénéficierait d'une coordination à large échelle tout en se spécialisant sur les taxons accessibles sur nos côtes. Des espèces invasives reconnaissables visuellement peuvent également être considérées.

Cette proposition présente un fort aspect pédagogique et éducatif, mais également scientifique dans le cas où les espèces ciblées peuvent être sources d'études menées dans le cadre de travaux de recherche.

Les espèces proposées correspondront donc à celles mises en avant par le biais de ces programmes, complétées par des espèces emblématiques du littoral français, mais également des espèces exogènes ou des espèces tout simplement facilement identifiables jusqu'au niveau spécifique.

Une liste non exhaustive est proposée ci-dessous :

- Espèces facilement identifiables :

Alaria esculenta, *Ascophyllum nodosum*, *Bifurcaria bifurcata*, *Fucus serratus*, *Fucus spiralis*, *Fucus vesiculosus*, *Himanthalia elongata*, *Pelvetia canaliculata*, *Saccharina latissima*, *Sargassum muticum*.

- Espèces emblématiques des côtes françaises à ajouter :

Laminaria digitata, *Palmaria palmata*, *Chaetomorpha aerea*

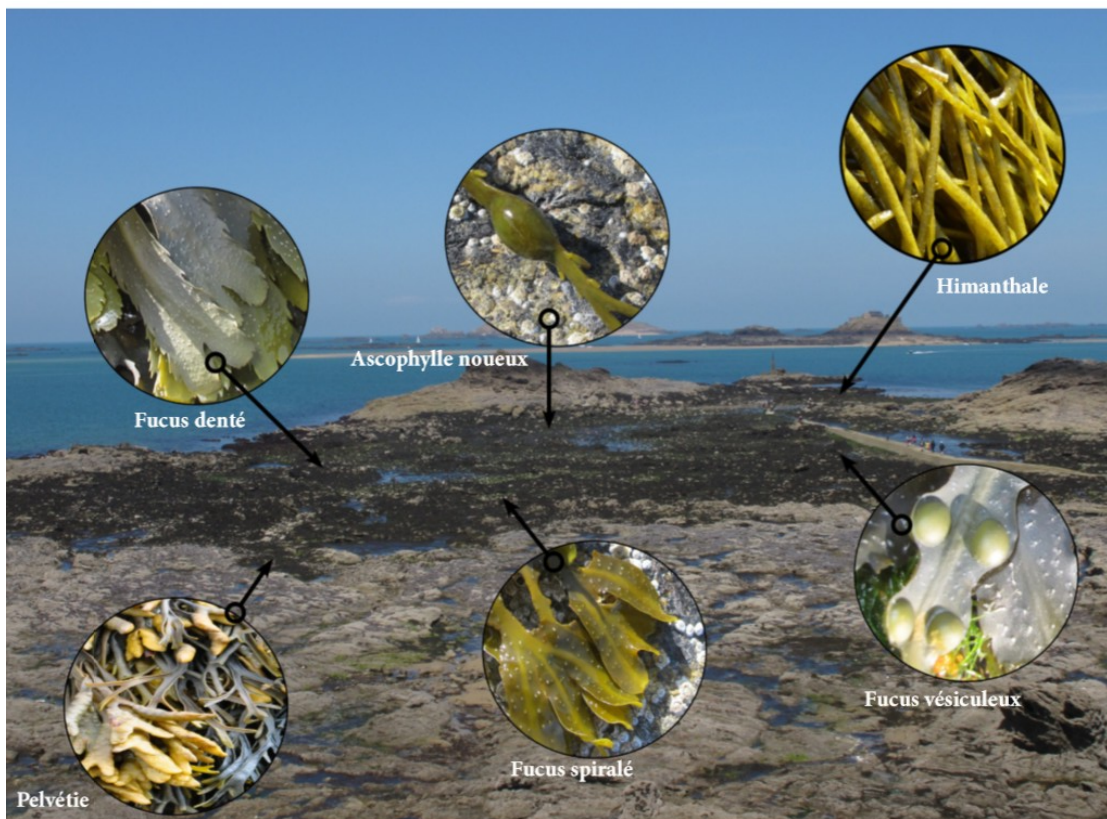
➤ Espèces exogènes :

Asparagopsis armata, *Asparagopsis taxiformis*, *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa racemosa*, *Grateloupia turuturu*, *Polysiphonia morrowii*.

(N. B. : Les deux espèces d'*Asparagopsis* ne sont pas distinguables lorsqu'elles sont au stade tétrasporophyte (forme de pompons) de leur cycle de vie (3^e génération))

Objectifs :

- Éduquer le public à la reconnaissance des espèces d'algues sur les littoraux français;
- Obtenir des données sur les algues issues de SC en limitant les erreurs d'identification;
- Alimenter les travaux portant sur la diversité et la répartition des algues appartenant à la sélection.



Fiche d'aide à l'identification des algues brunes du programme BioLit (tiré de : BioLit, s. d.)

- **Résultats attendus et applications :**

Il s'agit d'obtenir des données sur des espèces particulières par le biais d'inventaires ciblés de type présence ou présence/absence et l'apport de photographies pour approfondir les connaissances sur leur phénologie et leur distribution.

Ce projet permettrait également la surveillance d'espèces exogènes ou encore la répartition et l'état de santé des communautés emblématiques.

Les analyses pouvant en découler peuvent correspondre à des études de distribution de ces espèces, de leur aire de répartition ou encore l'évaluation des effets de l'environnement sur leur phénotype et leur répartition.

Pour ce qui a trait au retour aux participants, une carte interactive des observations de ces espèces peut être développée.

- **Prérequis scientifiques :**

Il est avant tout nécessaire de définir les espèces facilement identifiables dans les trois lignées d'algues (Chlorophyta, Rhodophyta et Phaeophyceae) et pouvant être l'objet d'études scientifiques (ce qui, en un sens, correspondrait aux espèces communes retrouvées dans de nombreux programmes de SC français). Pour ce faire, il est possible de s'inspirer des listes proposées dans des programmes de SC à l'international et pouvant être étendue en France. Il est préférable de présenter les espèces ciblées en fonction de leur affinité géographique (Manche, Atlantique, Méditerranée et différentes zones d'outre-mer) afin d'orienter la démarche des participants.

Enfin, l'exploitation scientifique des données dans des travaux de recherche doit être mesurée pour ajuster adéquatement les listes proposées. Ainsi, les données collectées répondront à un intérêt et un besoin scientifique, ce qui favorisera leur utilisation et légitimera l'implication du public en amont.

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique, des fiches d'espèces décrivant chacun des taxons choisis devront être réalisées (ou bien reprises à d'autres programmes si l'option d'extension à la France de projets internationaux est préférée).

Une plateforme de dépôt et d'hébergement des photographies devra également être réfléchiée sauf s'il s'agit d'instaurer en France un relais de ce qui se fait à l'échelle internationale. De même, il est possible d'instaurer une collaboration avec DORIS en réservant un espace pour les photographies d'espèces appartenant à la liste définie.

Des mises à jour régulières sont également à prévoir, notamment en ce qui concerne les espèces exogènes.

Du côté de l'entrée de données participative, les photographies devront être filtrées en fonction de leur qualité et de la présence d'une localisation *Global Positioning System* (GPS) associée.

- **Exigences organisationnelles :**

D'un point de vue organisationnel, la vérification de l'identification des espèces photographiées impose l'implication et la disponibilité d'un scientifique.

Une adaptation de la liste d'espèces et un effort de communication autour du programme et du devenir des données, devront être répercutées à l'échelle locale afin de favoriser, par la proximité, l'implication du citoyen, et l'efficacité dans la collecte des données en ne l'orientant que vers les espèces véritablement observables sur le territoire en question.

Si une plateforme indépendante doit être créée, le recrutement d'un informaticien ou développeur *web* est également à prévoir.

- **Budget :**

Le budget à prévoir devrait couvrir les dépenses engrangées par le responsable de projet pour la création d'une plateforme et outils associés par un concepteur *web* (carte interactive, fiches d'espèces). Le montant pour la mise en place d'un tel projet est donc estimé à moins de 10 000 euros.

- **Contraintes et limites :**

Cette voie ne présente pas de contrainte si ce n'est la recommandation d'opter pour une liste d'espèces qui est susceptible d'intéresser les scientifiques dans leurs travaux pour favoriser l'exploitation de ces données.

La détermination d'une liste d'espèces comporte cependant une limite inhérente qui est l'aspect figé de l'inventaire sur des taxons imposés et donc la perte de spontanéité et d'opportunité dans la démarche d'observation des participants.

- **État d'avancement et ressources disponibles :**

L'obtention de ce type de données, ainsi que leurs utilisation et valorisation scientifiques sont déjà présentes à l'international (« *Big Seaweed Search* » du NHM), mais également en France (« *BioLit* » avec la diffusion des premiers résultats d'observations effectuées en 2012-2013).

ANNEXE 3 - IDENTIFICATION AUTOMATIQUE D'ALGUES SUR PHOTOGRAPHIES

Intrants : Photographies

Domaine : Diversité spécifique

- **Description du principe et objectifs :**

Cette voie ambitionne de déterminer automatiquement les espèces présentes sur les photographies au moyen d'un logiciel. Le principe initial repose sur le référencement de différentes images d'espèces ou de parties d'algues en tant qu'images de référence d'un taxon précis et la détermination de ce dernier sur caractères morphologiques uniquement. En définissant ces particularités, il est alors possible de lancer une recherche comparative à partir d'une photographie d'une espèce non identifiée issue de la science participative et ainsi, aboutir à l'identification de cette dernière par un algorithme d'appariement.

L'application d'un tel logiciel ne portera que sur des groupes d'algues restreints, dont suffisamment d'informations et images de caractères morphologiques sont déjà à disposition pour établir la base de référence, et présentant une taxonomie morphologique en accord avec la taxonomie moléculaire. Par ailleurs, des phénomènes tels que la convergence morphologique ou la plasticité phénotypique peuvent obérer la fonctionnalité et la performance du logiciel et entraver la fiabilité du résultat obtenu. Une des composantes essentielles serait de mesurer cette marge d'incertitude en association au résultat une probabilité de vraisemblance.

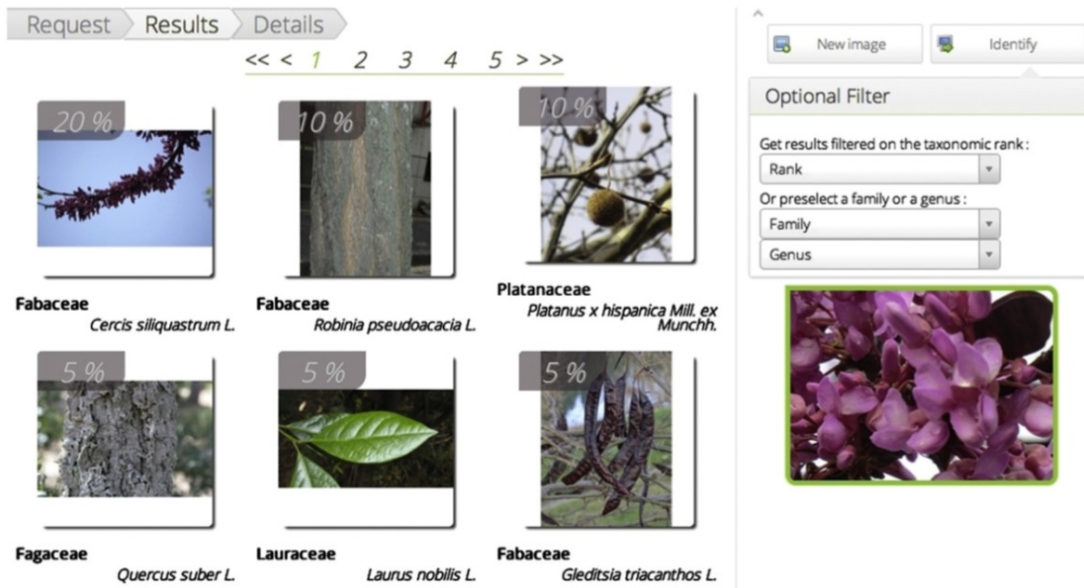
Des efforts doivent donc être investis dans l'étude de faisabilité de cette technique sur les algues, mais il est à préciser qu'une collection de 800 000 spécimens du MNHN a été scannée et représente un jeu de données conséquent disponible dès à présent (base de données des collections du MNHN, section cryptogames) et permettant de tester cette méthode, voire constituer les premières bases d'images de référence.

Plusieurs projets similaires existent en botanique et pourront être une source d'inspiration et de technologie pour développer un logiciel sur les algues : il s'agit, entre autres, du système de portrait-robot (IDAO), du système d'assistance à la détermination « Ophélie » (composante du projet FloraBelissima) ou encore d'un logiciel de reconnaissance à partir de zones locales caractéristiques (Plant@NET-IDENTIFY).

Ces logiciels sont opérationnels sur des groupes restreints. Pour Plant@NET-IDENTIFY, des données visuelles de feuilles, fleurs, fruits et tiges permettent l'identification de plantes à fleurs par comparaison aux spécimens de la banque d'images (Bonnet, 3 juin 2015). Pour IDAO, l'établissement d'un portrait-robot associé à un calcul de vraisemblance concerne des groupes tels que les plantes herbacées, les ligneux, les orchidées ou encore les grains de pollen pour des applications sur des flores de différentes régions (adventices du riz et autres cultures, espèces exotiques envahissantes, etc.) (Le Bourgeois, 2 juin 2015). Quant au système d'assistance à la détermination « Ophélie », il repose également sur une base de données dans laquelle sont indexées des images de plantes. Il fonctionne par le choix de caractères visuels et par comparaison à ceux intégrés dans la base, et progresse pour (éventuellement) trouver l'espèce possédant le plus de caractères en commun tout en se distinguant suffisamment des autres espèces potentielles (Pernot et Matthieu, 2010).

Objectifs :

- Déterminer l'identité taxonomique (genre voire espèce) des spécimens photographiés par reconnaissance assistée par ordinateur;
- Capitaliser les données sur les caractères morphologiques des groupes taxonomiques susceptibles de faire l'objet d'identification automatique par un logiciel;
- Faciliter l'identification des photographies de science participative;
- Faciliter plus généralement l'identification des algues, tant pour les scientifiques que pour les citoyens;
- Favoriser l'exploitation de ces données au sein de travaux sur la diversité taxonomique des algues.



Exemple de vue des résultats sur l'interface Plant@Net-IDENTIFY (tiré de : Joly *et al.*, 2014, p. 28)

- **Résultats attendus et applications :**

Les résultats attendus sont l'identification par comparaison morphologique des spécimens photographiés et l'alimentation des travaux de recherche sur la diversité spécifique portant sur les groupes désignés. Différentes applications peuvent être envisagées en fonction des algues pour lesquelles le logiciel est fonctionnel.

Ce logiciel peut également être considéré comme un outil citoyen tissant le lien avec les professionnels pouvant effectuer leurs analyses à partir de ces données (scientifiques ou responsables de territoires) et s'inscrit dans la tendance d'une utilisation croissante de systèmes écologiques de surveillance basés sur des images (Joly *et al.*, 2014).

- **Prérequis scientifiques :**

Un lourd travail amont est requis pour aboutir à un logiciel fonctionnel. Des projets similaires et fonctionnels sur des groupes végétaux doivent être étudiés afin d'évaluer la faisabilité de leur transfert ou adaptation pour les algues. De manière non exhaustive, certaines composantes et aspects techniques des systèmes IDAO, Plant@NET-IDENTIFY et FloraBellissima sont précisés ci-dessous.

Pour ce qui a trait à une approche par portrait-robot (IDAO), la sélection des groupes d'algues pouvant être concernés repose sur la présence d'une structure morphologique homogène et généralisable pour l'ensemble des espèces du taxon et permettant la réalisation d'un portrait-robot. Les dessins alimentant

du portrait-robot doivent être préparés avec tous les caractères morphologiques descriptibles et l'ensemble des modalités associées. Pour cela, les espèces sélectionnées doivent avoir bénéficié d'études approfondies ayant mis en évidence tous les caractères morphologiques nécessaires à leur identification précise et sans équivoque. Les informations de l'ensemble des espèces concernées sont alors recensées sous forme matricielle. (Le Bourgeois, 2 juin 2015)

Pour ce qui est d'une approche par zones locales caractéristiques (Plant@NET-IDENTIFY), elle est interdépendante d'une banque d'images suffisamment riche (ImageNet pour Plant@NET-IDENTIFY).

Elle repose sur la méthode d'appariement de points locaux. Brièvement, les caractéristiques locales sont extraites par multi-résolution de couleurs et en fonction des organes considérés. Chaque image correspond alors à une base de données représentée par une centaine de petites zones informatives détectées automatiquement (sommets, marges, etc.) et décrites selon des attributs (couleur, texture, forme, etc.). Toutes ces données relatives aux zones sont intégrées dans un index visuel pouvant être interrogé pour renvoyer à l'image possédant le plus de descriptions locales identiques.

Si plusieurs images sont fournies par l'utilisateur, les images similaires renvoyées par le système sont combinées afin d'aboutir à une liste d'espèces estimées automatiquement comme les plus similaires.

Le système repose sur des algorithmes d'appariement, mais il est également dépendant de l'enrichissement de la base d'images dans un contexte où de nombreuses lacunes d'illustrations sont observées, que ce soit au niveau de l'espèce comme au niveau de l'organe chez une espèce donnée.

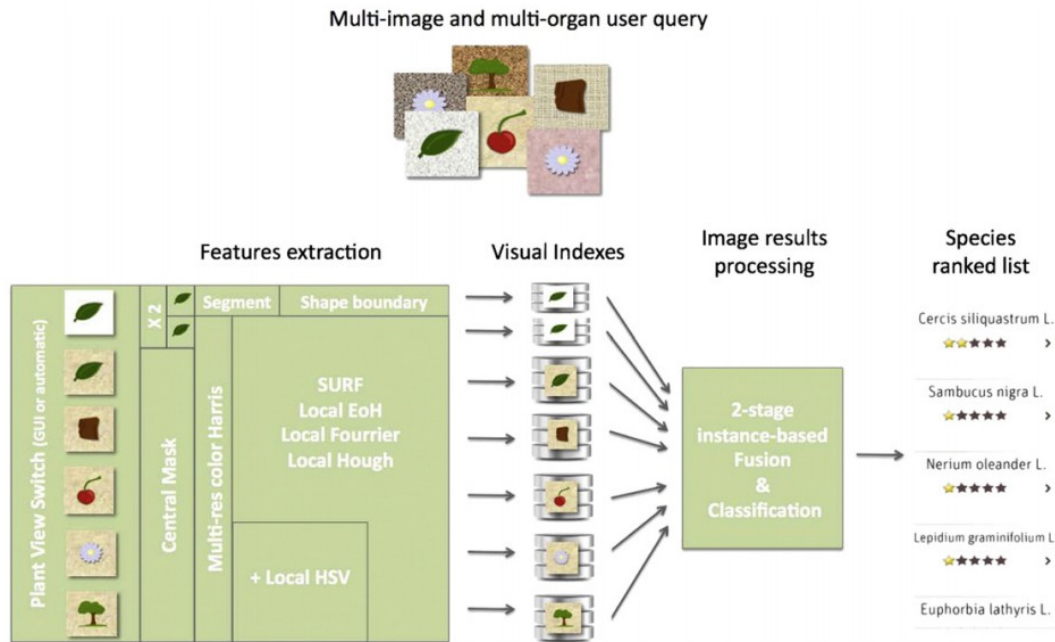
Le logiciel repose sur une Méthode généraliste de Récupération (CBIR) selon les étapes suivantes :

- 1) Extraction des caractéristiques locales;
- 2) Compression des caractéristiques locales (selon le calcul de la distance de Hamming);
- 3) Appariement des caractéristiques locales;
- 4) Sélection basée sur le nombre de caractéristiques correspondantes.

Du côté de l'utilisateur, l'interface graphique de requête de l'application lui permet de déposer une ou plusieurs images, à partir desquelles il pourra lancer la recherche tout en sélectionnant le niveau taxonomique d'intérêt (espèce, genre, famille). Le logiciel est également capable de répondre à une requête multi-organes lors d'un dépôt de plusieurs images d'organes, en proposant une liste d'espèces, genres ou familles classés par ordre décroissant en fonction des scores de confiance associés. (Joly *et al.*, 2014).

L'utilisateur peut aussi accéder à des photos supplémentaires et à la description botanique de l'espèce (fournie par Tela Botanica) ou encore d'effectuer une recherche par similarité visuelle selon la

notification sélectionnée (feuille, fleur, fruit, tige/écorce). Une application *Smartphone* a été développée pour la comparaison sur le terrain des photographies par rapport à la base d'images de référence.



Chaîne de requête multi-organes du logiciel d'identification visuelle Plant@Net-IDENTIFY (tiré de : Joly *et al.*, 2014, p. 29)

Pour ce qui a trait à un logiciel d'aide à la détermination tel que le système « Ophélie » de FloraBellissima, l'interrelation à un index de données scientifiques (sur les plantes, ou dans le cas présent, sur les algues) est l'élément basal. Le logiciel se compose d'un module de comparaison et d'un système de détermination adaptés à tous les niveaux de connaissances, du public novice à expert. Pour chaque plante considérée, 30 caractères sont renseignés. Il s'agit d'un système binaire (vrai/faux) de choix de caractères simultanés. Une matrice de similarité permet de calculer la distance séparant les différentes valeurs du caractère et ainsi donner un « poids » à chaque facteur.

Les contraintes prises en compte sont le contraste dans les compétences des usagers et la possibilité d'erreurs, mais également la diversité morphologique des plantes d'un échantillon à l'autre. Le logiciel est donc calibré pour accepter des erreurs potentielles et une variabilité dans la description.

L'affichage du nom est conditionné à la fois, d'une différence marquée avec les autres plantes candidates et d'une ressemblance suffisante avec la description de la requête afin de réduire les risques d'une mauvaise identification.

Ces trois exemples d'outils interactifs d'aide à l'identification font apparaître des questions essentielles pour la réflexion autour de la création d'un logiciel similaire pour les algues :

L'existence d'une base de données alimentant le logiciel est une condition *sine qua non* pour assurer sa fonctionnalité. Seulement, dispose-t-on de suffisamment d'images des espèces existantes et de leurs différentes parties pour un logiciel de type reconnaissance automatique par appariement de zones locales? Des groupes d'algues sont-ils suffisamment complets d'un point de vue des connaissances sur leur morphologie spécifique pour construire une matrice à la base de la méthode de portrait-robot?

Par ailleurs, en ce qui concerne la fiabilité du résultat obtenu, à quel seuil de vraisemblance déterminer qu'un spécimen correspond à l'espèce identifiée? Comment s'affranchir des effets dus aux phénomènes de convergence et de plasticité morphologique?

Autant de questions qu'il est nécessaire de se poser avant d'engager la démarche de création d'un logiciel d'identification automatique pour les algues.

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique général, les différentes composantes du système doivent être mises en fonction du type de logiciel sélectionné.

L'association du spécimen photographié à une image référence de l'espèce (portrait-robot, représentation visuelle, etc.) est issue d'un algorithme d'appariement de caractères. Du fait de phénomènes de plasticité phénotypique chez les algues, la formule doit être réfléchie de manière à ce qu'une variation morphologique intraspécifique soit admise et tolérée jusqu'à une certaine mesure. Les erreurs d'identification causées par les phénomènes de convergence, quant à elles, ne pourront pas être prévenues ni réduites.

Le résultat de chaque espèce identifiée devra être accompagné d'un indice de vraisemblance entre la description faite et le résultat donnée. Différentes méthodes peuvent être utilisées, mais un calcul de distance semble particulièrement adapté (IDAO). Le système Plant@net-IDENTIFY n'octroie pas de probabilité de ressemblance à l'espèce identifiée, mais la pertinence des approches visuelles pour l'identification des plantes est évaluée annuellement, dans le cadre de LifeCLEF (Bonnet, 3 juin 2015).

Par ailleurs, deux contraintes techniques majeures sont à considérer. D'une part, la réalisation et la mise en place du système de portrait-robot nécessite que les espèces concernées présentent, dans une certaine mesure, une organisation morphologique commune pour pouvoir renvoyer à un même portrait-

robot. D'autre part, il est indispensable de disposer de la totalité des informations sur l'ensemble des caractères morphologiques à décrire pour chaque espèce. Cela demande donc un travail conséquent de collecte de ces informations, de mise en commun, d'homogénéisation et de synthèse. Il est évident que ce ne pourrait être fait pour les milliers d'espèces d'algues existantes, d'où la nécessité de cibler des taxons, et ce, dans un milieu particulier afin de réduire le nombre d'espèces et rendre le système réalisable et fonctionnel. (Le Bourgeois, 2 juin 2015)

Par ailleurs, des exigences supplémentaires émergeront en fonction de l'application du logiciel (groupe taxonomique (ordres, familles ou genres particuliers), type morphologique (algues d'allures filamenteuses, en lames, encroûtantes, vésiculeuses, etc.), localité (algues de Méditerranée, de l'Atlantique Ouest, des Caraïbes, de l'Indo-Pacifique, etc.) et environnement (récifs coralliens, substrats sableux, estrans, etc.). Elles seront donc à analyser spécifiquement lors de l'élaboration du paysage support du logiciel relativement à chaque espèce, groupes ou applications choisies.

L'utilisation de photographies elle-même renvoie à des difficultés techniques telles que : le bruit sur les images elles-mêmes ((images encombrées, présence d'autres organismes en fond) ou dans les métadonnées (nom de taxon, d'organes, de type de vue, etc.); des images de référence trop homogènes (issue d'une collecte unique, dans une période de temps limitée, sur zone restreinte ou en utilisant le même protocole d'acquisition) et ne pouvant fournir une identification satisfaisante de nouvelles images, collectées à différentes périodes ou lieux.

Cela va de pair avec le constat que d'importants efforts sont concentrés sur la diversité spécifique ou supra-spécifique et non intraspécifique, ce qui conduit à la photographie d'un grand nombre d'espèces et à un déficit d'images d'organes par espèce. Or la morphologie de la plante est souvent très variable, en fonction des conditions de croissance, stade de développement, ou des différences génétiques interindividuelles.

Du point de vue de l'utilisateur, le logiciel et les autres outils associés doivent être disponibles par le biais d'une plateforme *web* 2.0 collaborative.

Mais là encore, l'utilisation du système par le public fait apparaître d'autres spécificités techniques relatives à l'accessibilité, la compréhension et les modalités d'utilisation et d'interprétation du résultat obtenu.

- **Exigences organisationnelles :**

L'évaluation des technologies de connaissances visuelles pour les algues n'a jamais été effectuée et nécessite un rassemblement de réseaux humains impliqués dans la phycologie. C'est pourquoi les concepteurs de projets similaires pour la botanique et les phycologues doivent, avant tout, réaliser une analyse conjointe pour évaluer la faisabilité et organiser la réalisation d'un tel projet.

Par la suite, un consortium d'experts inscrits dans des domaines de compétences divers devra être créé pour l'élaboration et la mise en place du projet. En effet, la réalisation du système nécessite une complémentarité d'expertises en science informatique, botanique, outils multimédias et animation de projet (Bonnet, 3 juin 2015).

Pour le cas d'un système fonctionnel sur les algues, il s'agira essentiellement de taxonomistes phycologues (pour la synthèse des caractères d'identification des espèces), d'informaticiens taxonomistes (pour la conception du système) et de développeurs (pour les adaptations logicielles dans différents langages informatiques en fonctions des types d'organisation (offline, online, mobile) (Le Bourgeois, 2 juin 2015).

Par ailleurs, les données visuelles utilisées par Plant@NET-IDENTIFY, sont quant à elles, agrégées en licence cc-by-sa et régulièrement diffusées dans le cadre de la campagne internationale LifeCLEF (Bonnet, 3 juin 2015). Il pourrait donc être envisagé un forum similaire autour des données sur les algues.

- **Budget :**

Cette proposition requiert une importante implication de différents spécialistes (taxonomistes concepteur du logiciel, informaticien, etc.) et des moyens matériels onéreux pour la construction de banques d'images de référence et/ou de bases de données associées et relatives aux différents groupes d'algues potentiels. Le développement d'un logiciel fonctionnel sur Internet, voire décliné sur *Smartphone*, entre également en ligne de compte. Ensuite seront à prévoir la rémunération d'une responsable de projet et les coûts de maintenance et de mise à jour du système. Le budget nécessaire pour la mise en place du projet est estimé supérieur à un million d'euros quel que soit le concept et la technologie adoptés.

- **Contraintes et limites :**

Quelle que soit la méthodologie choisie, le lourd travail en amont demande un imposant effort temporel et humain et donc, un apport financier conséquent.

Le logiciel doit cibler uniquement des espèces pour lesquelles toutes les informations sur les caractères morphologiques sont renseignées et pouvant alors être aisément décrites. De nombreux taxons ne peuvent faire l'objet d'un tel système. En effet, certains groupes d'algues sont sous-étudiés, d'autres possèdent une diversité de morphotypes complexe qui n'est pas, à ce jour, évaluée. Pour d'autres encore, les caractères morphologiques ne sont tout simplement pas suffisants pour distinguer deux espèces proches. Enfin, des phénomènes de convergence morphologique, plasticité phénotypique et diversité cryptique peuvent obérer l'identification automatique. Enfin, les outils de la systématique moléculaire ont mis en évidence de nombreuses « espèces putatives » pour lesquelles des caractères morphologiques ont bien été observés, sans toutefois pouvoir les lier avec les types porte-noms. Quoi qu'il en soit, et dans le cas de l'aboutissement d'un logiciel fonctionnel pour certains groupes d'algues, les données relatives devront être évaluées annuellement et dans le cas de modifications ou découvertes (d'espèces ou de morphotypes), mis à jour en fonction.

- ***État d'avancement et ressources disponibles***

Ce projet serait innovant en phycologie, mais disposerait des méthodologies de systèmes similaires en botanique (Plant@NET-IDENTIFY, IDAO, FloraBellissima) et de l'expertise des concepteurs associés.

ANNEXE 4 - CLÉ DE DÉTERMINATION INTERACTIVE

Intrants : Photographies et observations

Domaine : Diversité spécifique

- **Description du principe et objectifs :**

Cette voie met en avant l'utilisation de clés de détermination interactive pour l'identification taxonomique des espèces sur photographie. Le principe consisterait à proposer une sélection successive de caractères morphologiques visibles à l'œil nu et aboutissant à des propositions d'espèces partageant des caractéristiques similaires avec une probabilité de ressemblance.

La complexité et la lourde élaboration d'un tel projet imposent de traiter les algues groupe par groupe pour la réalisation de clés spécifiques.

Des travaux ont été commencés au milieu du 20^e siècle par Gontran Hamel mais restent non terminés ou fragmentaires et n'ont pas été mis à jour depuis l'avènement de la taxonomie moléculaire. Les groupes concernés par ces premières clés sont les Chlorophyceae des côtes françaises (Hamel, 1924a; Hamel, 1930), les Florideae de France (Hamel, 1924b; Hamel, 1975) et les Phaeophyceae (Hamel, 1931). Ces dernières se trouvent sous format papier, ce qui n'optimise pas leur utilisation.

Il serait donc intéressant de 1) les mettre à jour en fonction des nouvelles découvertes d'espèces et du remaniement taxonomique issu de l'analyse moléculaire, 2) étudier la faisabilité sur des groupes plus restreints en prenant soin de vérifier que la discrimination sur base morphologique est en accord avec les résultats issus de la taxonomie intégrative (morpho-anatomique et moléculaire) et 3) de privilégier un format numérique et interactif des clés élaborées.

Enfin, une version de clé interactive pourrait également être déclinée sous forme d'application *Smartphone* pour des déterminations post-terrain.

Objectifs :

- Faciliter l'identification des espèces (ou supra-spécifique) par un outil d'accompagnement interactif;
- Relancer la floristique des algues en sollicitant la participation citoyenne;
- Mettre en commun et structurer toutes les données taxonomiques relatives à la morphologie par le biais de ce projet.

- **Résultats attendus et applications :**

Les résultats attendus sont la facilitation du public à la détermination des taxons observés et finalement, l'alimentation des travaux de recherche portant sur la diversité, la taxonomie et la phylogénie des lignées pour lesquelles le logiciel sera fonctionnel. Ces données pourront être collectées dans une base de données locale, voire nationale, après vérification par des experts.

Par ailleurs, le travail d'élaboration de clé de détermination, que ce soit la mise à jour d'anciens travaux comme la création inédite, permettrait un renouveau de la floristique phycologique, qui est actuellement un domaine délaissé (Le Gall, 2015c).

Néanmoins, cette piste de valorisation se confronte au manque de disponibilités humaines et temporelles pour un tel travail, notamment dans un contexte actuel où la floristique ne correspond pas aux priorités de recherche. La science participative représente alors une source intéressante à impliquer dans un tel travail, demandant à la fois du temps et un nombre non négligeable d'acteurs, et pourrait donc être un levier pour relancer la floristique des algues.

La botanique bénéficie d'ailleurs d'une participation citoyenne particulièrement efficace, notamment dans le domaine des clés de détermination. Ces dernières sont fonctionnelles jusqu'à la famille, le genre ou l'espèce et certaines sont articulées autour de sites particuliers, par exemple « ID-Botanica » pour les plantes vasculaires de France métropolitaine et de la Réunion (Tela Botanica, s. d.). La mobilisation d'une communauté similaire pour les algues serait porteuse pour la discipline.

- **Prérequis scientifiques :**

Un tel projet demande la mise à jour et/ou réalisation des clés dichotomiques des différentes lignées d'algues :

- a) Recenser les groupes pour lesquels des clés ont déjà été élaborées, voire commencées, analyser l'évolution avec la taxonomie moléculaire actuelle et mettre à jour, voire compléter, ces clés;
- b) Déterminer les taxons pour lesquels la création de clés dichotomiques semble la moins complexe, c'est-à-dire des groupes suffisamment décrits par des études morphologiques et dont les analyses moléculaires n'ont pas fortement remis en cause la classification morpho-anatomique.

Par ailleurs, il est préférable d'alléger et simplifier le travail préalable de construction de clés dichotomiques en imposant un filtre des possibilités ciblant uniquement les espèces présentes dans les territoires marins français.

Enfin, l'échelle de détermination définitive est également à étudier. Si l'identification jusqu'à l'espèce serait intéressante, les phénomènes de convergence évolutive et de plasticité phénotypique peuvent obérer la résolution spécifique. Une clé de détermination se finalisant sur le genre peut alors être préférée pour certains groupes et assurer une meilleure fonctionnalité et fiabilité de résultat, tout en allégeant le travail initial des scientifiques pour le renseignement de la gamme de caractères morphologiques.

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique, l'entrée de la gamme de caractères morphologiques et la sélection des discriminants représentent un lourd travail en amont pour pouvoir proposer au fil de la clé, des possibilités de choix au public. La chronologie de ces caractères est également à réfléchir pour obtenir une détermination des plus fiables en minimisant les étapes de sélection.

Une certaine tolérance aux erreurs dans la sélection des caractéristiques peut être calibrée pour ne pas porter atteinte à la fiabilité du résultat tout en laissant une marge d'erreur à l'utilisateur.

Des mises à jour doivent être possibles et prévues en cas de nouvelles découvertes (d'espèces ou de morphotypes).

Une application *Smartphone* peut également être développée pour l'accompagnement du public dans l'identification des espèces observées directement sur le terrain.

- **Exigences organisationnelles :**

D'un point de vue organisationnel, la première phase consistant à mettre en commun, capitaliser et synthétiser collectivement les différentes descriptions morphologiques disponibles pour les taxons concernés, nécessite l'implication de taxonomistes phycologues.

La mise en commun des informations peut prendre la forme d'une interface dédiée à l'échange et au dépôt des différentes connaissances et publications des taxonomistes en phycologie, qui seront ensuite commentées et mises à jour de manière collaborative pour créer une chronologie interactive précurseur d'une clé de détermination.

Dans un second temps, un recours à un informaticien ou concepteur de logiciel pour la création de l'interface et du système de clé de détermination interactive sera également nécessaire.

- **Budget :**

La mise en place d'une clé de détermination nécessite au préalable de mandater taxonomistes, informaticiens et concepteur *web*. La création de l'interface *web* (voire de l'application mobile) ainsi que

le coût de fonctionnement et de mise à jour sont également à considérer. Une somme estimée entre 100 000 à un million d'euros semble donc nécessaire pour couvrir ces modalités de mise en œuvre, mais également la gestion sur le long terme du système, sa mise à jour et sa déclinaison sur les différents groupes d'algues sélectionnés.

- ***Contraintes et limites :***

Une contrainte non négligeable pour ce projet est le manque de ressources disponibles. En effet, même si certains travaux avaient été commencés dans les années 1930, ils restent fragmentés et archaïques. Or, les priorités de recherche actuelles ne se trouvent pas en floristique et il sera difficile de recruter un nombre conséquent de taxonomistes pouvant dégager suffisamment de temps pour un tel travail.

Pour certains groupes, la morphologie ne suffit d'ailleurs pas à identifier l'espèce et des analyses anatomiques et moléculaires s'imposent. De même, les phénomènes de convergence et de plasticité réduiront les chances de réussite du logiciel dans de nombreux groupes.

Cette voie ne peut donc être généralisée à toutes les algues, et quoi qu'il en soit, les modalités de réalisation imposent que des clés soient proposées au fur et à mesure, sur des groupes possédant des données « fiables ». D'imposantes ressources humaines, temporelles, et donc financières, sont nécessaires sans promesse de succès.

- ***État d'avancement et ressources disponibles :***

Cette proposition, existante en botanique au sein de la communauté Tela Botanica, serait inédite en phycologie. Un gros travail en amont est cependant nécessaire avant qu'un tel projet ne soit opérationnel.

ANNEXE 5 - IDENTIFICATION TAXONOMIQUE AU NIVEAU DU GENRE

Intrants : Photographies

Sortie : Diversité supra-spécifique

- **Description du principe et objectifs :**

S'il est souvent complexe d'identifier les spécimens au niveau spécifique sur des images, il est beaucoup plus aisé de déterminer le genre en question à partir de la morphologie observée. C'est pourquoi, si le niveau d'identification s'en tient au genre, une quantité massive de photographies pourra être identifiée et leur exploitation scientifique en sera favorisée.

En effet, de nombreuses études sur la répartition et la distribution de groupes d'algues ainsi que certaines études phylogénétiques ciblent le niveau générique pour alimenter leurs travaux.

Objectifs :

- Favoriser l'exploitation des photographies sur les algues;
- Permettre au participant une identification rapide du genre observé;
- Alimenter les travaux de recherche par des données de science participative à l'échelle générique.

- **Résultats attendus et applications :**

Les résultats attendus sont l'identification massive à un niveau générique des photographies existantes et à venir et ainsi augmenter les chances des données photographiques de SC sur les algues d'être utilisées et valorisées. Par cette approche, ce sont les travaux de recherche ciblant le niveau générique et supra générique qui sont visés. Il peut alors être question d'études sur la diversité supra-spécifique, d'analyses phylogéniques à l'échelle du genre, l'écologie des communautés, sur la répartition et le suivi (ex. : bathymétrique ou latitudinal) de genres d'algues, en réponse au changement global, etc. Il est également possible que les résultats obtenus (identification de genres, aire de répartition, etc.) viennent compléter des bases de données locales, voire nationales.

Par ailleurs, il s'agit d'un premier niveau d'identification, les photographies de spécimens pour lesquels il est pertinent d'approfondir l'analyse pourront être sujettes à une identification jusqu'à l'espèce par des scientifiques si tant est qu'ils puissent y parvenir sur la base des caractères morphologiques seuls.

- **Prérequis scientifiques :**

Au préalable, il convient de déterminer et de s'assurer de la portée et des perspectives de l'identification générique sur photographies. Pour ce faire, les besoins et intérêts des chercheurs doivent être déterminés pour évaluer la pertinence de l'apport de ces données dans leurs travaux.

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique, les photographies doivent répondre à un certain niveau de qualité, et être associées à des données GPS. De même, certains critères techniques peuvent être imposés aux participants comme, par exemple, exiger deux prises de vue (rapprochées et d'ensemble).

Par ailleurs, même si elle est plus aisée et accessible, la vérification et la validation par des scientifiques ou curateurs des identifications par le public sont nécessaires. Prise de vue rapprochée et d'ensemble. D'autres stratégies de vérifications ou d'atténuation d'erreurs peuvent être envisagées en laissant la possibilité à plusieurs participants d'identifier une photographie ou émettre des commentaires et ainsi aboutir à un résultat collaboratif unique.

Des fiches descriptives des genres observables en fonction de la zone marine devront être réalisées pour accompagner et aider les participants dans l'identification par comparaison des photographies et autocontrôler la cohérence géographique de leur réponse. Ces dernières peuvent être présentées par grandes lignées ou encore par allures morphologiques caractéristiques.

De nombreuses photographies sont dès à présent accessibles sur DORIS et peuvent faire l'objet de ce niveau d'identification. Cependant, les nouvelles photographies doivent pouvoir être déposées et hébergées sur une plateforme. Il convient alors de définir si un espace spécifique peut être créé sur DORIS pour les photographies qui feront l'objet d'une identification jusqu'au genre uniquement, ou s'il est préférable de créer une plateforme de dépôt indépendante.

Les photographies mises à disposition pourront être catégorisées par allure morphologique ou grands groupes pour faciliter la démarche du participant.

- **Exigences organisationnelles :**

D'un point de vue organisationnel, les ressources humaines devront être représentées par des curateurs et/ou taxonomistes phycologues pour la validation, correction, et les retours des identifications, puis l'exploitation et la valorisation des informations obtenues.

Dans le cas d'un développement d'une plateforme dédiée, un informaticien ou concepteur *web* devra également être intégré dans le projet puis un responsable de réseau qui sera en charge de la mise en

ligne des photographies, et les exigences associées. Dans le cas d'une collaboration et d'un hébergement par DORIS, ce seront alors les ressources internes du programme qui seront mises à contribution.

Pour la collecte des données (photographies), les réseaux locaux et associations déjà impliqués dans ce type de programmes de SC seront impliqués (FFESSM, Sentinelles bleues et dérivés, etc.) et d'autres peuvent être envisagés dans une perspective de développement global des SC en milieu marin (CPIE du littoral et Observatoires locaux, et autres associations ayant trait au monde marin).

- **Budget :**

Le budget, estimé inférieur 10 000 euros, comptabiliserait la création d'une page *web* dédiée au dépôt et à l'identification collaborative des genres représentés. Un responsable de projet devra par la suite être mandaté pour la gestion sur le long terme du programme. Le coût de ce projet sera bien inférieur s'il est rattaché au réseau DORIS et bénéficie des moyens déjà mis en place par le programme.

- **Contraintes et limites :**

Le concept d'identification au niveau générique est associé à une limite d'application inhérente puisque les données ne pourront satisfaire que des travaux de recherche de même niveau taxonomique. Cette limite n'est cependant pas figée puisque l'identification au niveau spécifique reste possible, mais elle devra être réalisée au cas par cas par le chercheur intéressé, et donc sur un groupe restreint de photographies.

Il peut également exister des difficultés de distinction entre genres pour certaines familles phycologiques, mais en moindre mesure par rapport au niveau spécifique.

- **État d'avancement et ressources disponibles :**

L'utilisation des photographies de SC pour leur valeur informative sur les genres observés ne semble pas exister. La plateforme associée au réseau DORIS est une source importante de photographies qui pourront alors faire l'objet d'une identification au niveau générique.

ANNEXE 6 - PAYSAGES, STRATES ET BIOCÉNOSES ALGALES

Intrants : Photographies

Domaine : Diversité des communautés et diversité fonctionnelle

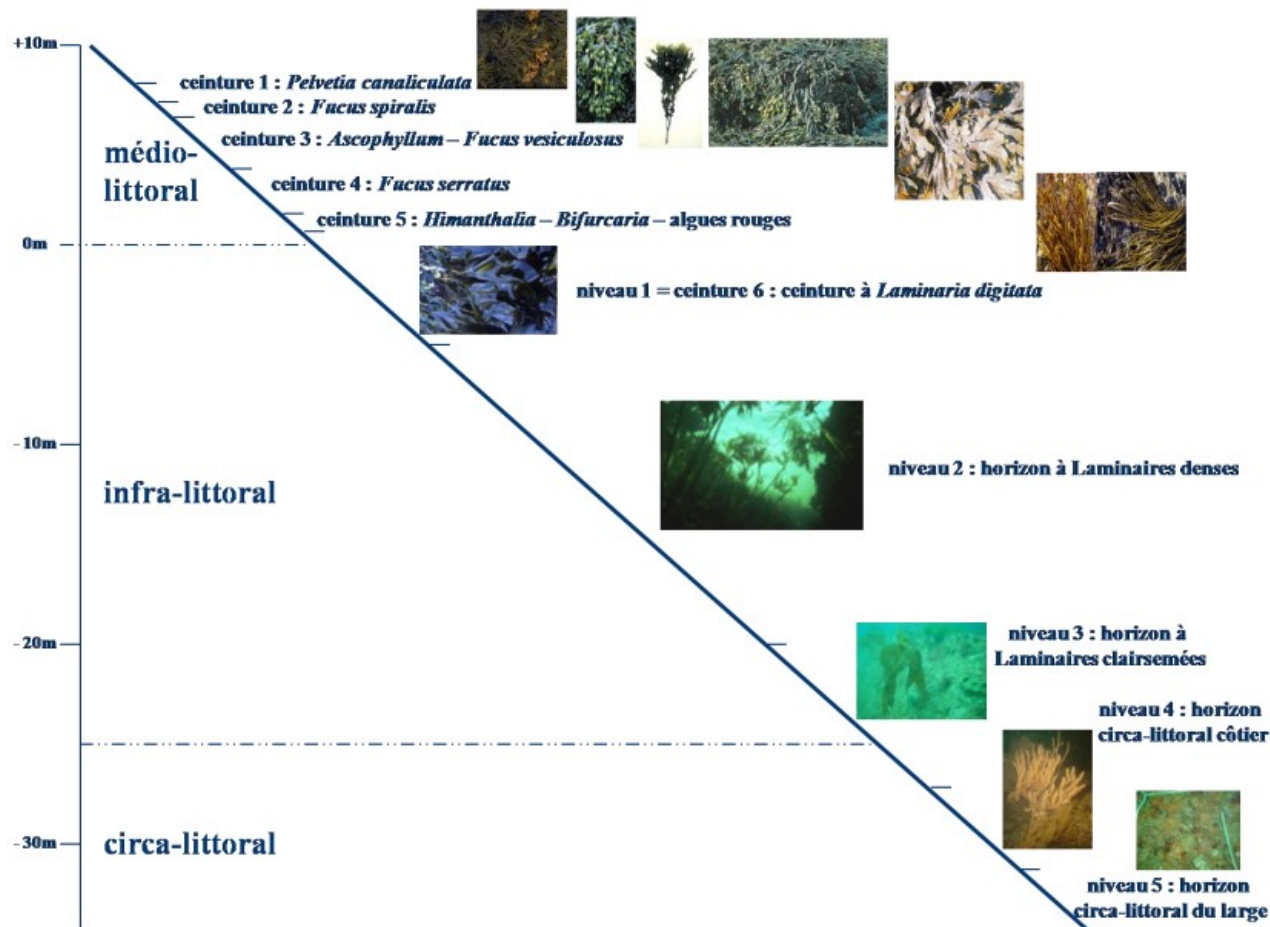
- **Description du principe et objectifs :**

Cette piste consiste à identifier sur photographies les biocénoses algales représentées. La définition et la description des différentes strates algales font l'objet d'une documentation et de travaux importants, et mis à jour. Il y a donc une base scientifique suffisante pour l'écologie des communautés, cependant des actions restent à entreprendre pour ouvrir ce domaine aux SC. En effet, souvent non-familiers des différentes biocénoses algales, il est nécessaire de fournir aux participants des photographies correspondantes à chacune d'elles. Par exemple, le document de référence récemment mis à jour « Typologie des habitats marins benthiques de la Manche, de la Mer du Nord et de l'Atlantique Version 2 » (Michez *et al.*, 2015) pourrait être accompagné d'un catalogue de photographies descriptives relatives à chaque biocénose définie.

Certaines biocénoses remarquables (herbiers de posidonies, peuplements de coralligène, etc.) sont intéressantes à porter à la sensibilisation du public pour la grande diversité qu'elles abritent et leur rôle fonctionnel majeur dans l'écosystème. D'autres biocénoses se distinguent par leur caractère culturel, patrimonial ou encore esthétique dans la perception qu'en ont les plongeurs. Elles peuvent donc faire l'objet d'un programme de SC qui aurait de grandes chances d'être attractif.

Objectifs :

- D'impliquer les citoyens dans l'observation des biocénoses;
- D'associer davantage la science participative à des travaux sur la diversité fonctionnelle;
- D'informer, éduquer et sensibiliser le grand public à la diversité des biocénoses algales, leurs rôles fonctionnels et les nombreux enjeux associés.



Exemple d'étagement d'habitats et biocénoses associés sur le littoral breton (tiré de : Ar Gal *et al.*, 2010, p. 4)

- **Résultats attendus et applications :**

Les données issues des photographies citoyennes pourront alimenter différents travaux sur la diversité fonctionnelle des biocénoses benthiques et favoriser l'approfondissement des connaissances sur la structuration des peuplements (succession des ceintures, strates algales, biodiversité, compétition spécifique, biogéographie) ainsi que leur évolution au cours du temps. Dans un contexte de changement global, cela peut mettre en évidence l'impact des activités anthropiques et du changement climatique sur ces communautés. L'implication de citoyens, par son potentiel de multiplication des ressources observatrices, peut également favoriser la découverte de nouvelles associations phycologiques.

De manière plus précise, les données collectées peuvent être soumises à des calculs d'indices ou autres analyses (Le Pape, 2005; Micheli et Halpern, 2005; Petchey et Gaston, 2002). Notamment, la corrélation entre variabilité spatiale et hétérogénéité des strates est particulièrement testée, en ciblant la diversité des groupes écologiques et trophiques selon le gradient bathymétrique ou encore l'hétérogénéité des

substrats, la diversité des habitats et la diversité fonctionnelle pour tester l'hypothèse selon laquelle la diversité fonctionnelle serait favorisée par un plus grand nombre de niches écologiques. L'étude de la variabilité dans le temps associée au suivi des espèces opportunistes ou de la succession de groupes trophiques, permet de mettre en évidence les éventuelles évolutions (extension, composition) et d'apprécier l'impact des perturbations climatiques et anthropiques sur les biocénoses. (Rouyer, 2008)

Enfin, des analyses multi-échelles sont réalisées pour des problématiques locales (clapage, aménagements, extraction granulat) à globales (réchauffement climatique et limite aire de répartition des espèces) (Derrien-Courtel et Le Gal, 2010; Gallon *et al.*, 2014), et le croisement de données avec des bases de données permet alors de discriminer les paramètres locaux et globaux pouvant expliquer la répartition des communautés benthiques.

Le REBENT mène déjà des travaux sur les biocénoses algales (étude de l'extension en profondeur des ceintures algales, densité des algues structurantes, etc.) (Ar Gall *et al.*, 2010). Une étude sur base d'images et des données de SC pourrait être une source d'informations supplémentaires non négligeables.

Par ailleurs, d'un point de vue gestion et conservation des écosystèmes, ce projet est également pertinent puisque des habitats tels que les forêts de Laminaires sont particulièrement intéressants par leur rôle fonctionnel majeur au sein de la zone côtière (Robuchon *et al.*, 2015). Il est donc essentiel d'impliquer la société civile dans de telles problématiques, à la fois pour améliorer leurs connaissances, mais également pour la sensibiliser à ces écosystèmes primordiaux et pourtant fragiles.

- **Prérequis scientifiques :**

Au préalable, il convient de se rapprocher des structures de recherches nationales (SPN, REBENT), mais également locales, pour proposer des typologies de biocénoses correspondantes à ce qui peut être observé par les participants sur le territoire en question.

Avant de pouvoir exploiter les photographies de SC, il est primordial de guider le participant dans sa démarche pour l'obtention de ces données. Pour ce faire, une des priorités est d'illustrer le document en créant un catalogue d'images des différentes typologies et permettre ainsi l'interprétation et la catégorisation à partir de photographies en science participative.

Ensuite, il est nécessaire d'analyser dans quelles mesures les photographies de SC et les données qui en seront issues pourront alimenter les travaux en écologie sur les communautés algales.

Il est également recommandé de structurer et cadrer la participation du public en déterminant le type et les modalités de photographies pouvant être exploitées par la suite (différentes prises de vue nécessaires et paramètres spécifiques (pixels, luminosité, couleur, etc.)).

De plus, les paramètres de traitement des photographies de SC sont à fixer (saturation, teinte, conversion d'image, etc.) en suivant ou en adaptant les protocoles du REBENT ou d'autres équipes expertes (Tanner *et al.*, 2015; Mellin *et al.*, 2012) vis-à-vis des analyses prévues sur les photographies de SC.

Pour ce qui a trait aux analyses de données, il est essentiel de déterminer quelles échelles peuvent être adoptées (par ceinture algale, par strate, par bathymétrie, par groupe fonctionnel (morpho-anatomiques et trophiques), etc.).

Il peut être envisagé une méthode de pointage et comptage après une évaluation de sa pertinence pour les photographies de SC (en fonction de la qualité de l'image, de l'angle de prise de vue, etc.).

Enfin, une approche par indices peut être abordée et testée pour s'assurer qu'elle est applicable aux photographies de SC. Ultérieurement, les indices pertinents pouvant être calculés à partir de ce type de données devront être identifiés (indice d'évolution taxonomique de la canopée (I_T), indice de stratification de la canopée (I_S), indice d'organisation de la canopée (I_O), indice d'état de la canopée (I_C)) (Ar Gall *et al.*, 2010).

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique, la qualité des photographies (point de prise de vue, paramètres, etc.) et leur géolocalisation sont des critères à imposer aux participants pour l'acceptation de leurs photographies. En particulier, la géolocalisation en 3 dimensions, malgré qu'elle ne soit pas suffisamment utilisée, est primordiale puisqu'elle permet de renseigner sur la bathymétrie, paramètre crucial pour l'étude des algues. Le format d'entrée particulier devra également être renseigné.

Une plateforme *web* 2.0 collaborative pour le dépôt et l'identification des photographies devra être développée.

Différents outils sont conseillés pour accompagner le participant dans sa démarche, à savoir :

- 1) Un guide d'accompagnement;
- 2) Un catalogue illustré de la typologie des biocénoses benthiques;
- 3) Un tutoriel pour l'identification des photographies;

4) Une carte interactive des biocénoses observées peut également être pensée en tant que retour des observations aux contributeurs.

Par ailleurs, pour faciliter la recherche d'informations, cette plateforme peut être subdivisée en fonction de la façade marine d'intérêt (Atlantique, Manche, Méditerranée, outre-mer)

La collecte photographique peut également être encadrée par des exigences techniques de la part des scientifiques qui utiliseront ultérieurement les données. En effet, les chercheurs peuvent cibler un type de biocénoses particulier qui les intéresse pour son caractère remarquable, patrimonial ou l'état actuel.

De plus, si la mission de SC est encadrée, il est possible qu'une méthode soit imposée (transect d'observation, linéaire de côte, site particulier, etc.) et que d'autres données soient récoltées (espèces protégées, espèces remarquables) pour compléter les informations photographiques des biocénoses, et orienter l'exploitation de l'ensemble vers l'évaluation de l'état actuel du patrimoine biologique, voire comparer avec d'anciennes données pour suivre son évolution (Bonhomme *et al.*, 2001). Il est en effet important de repérer les indicateurs biologiques et d'espèces sentinelles dont certaines algues (*Rissoella verruculosa*, *Lithophyllum byssoides*, *Cystoseira amentacea*, etc.) qui font l'objet d'étude d'abondance et de cartographie participant à l'évaluation de la vitalité du littoral côtier.

- **Exigences organisationnelles :**

D'un point de vue organisationnel, la mise en place d'un programme de SC visant à la collecte de photographies de paysages sous-marins est nécessaire. Pour ce faire, il est nécessaire de dresser une collaboration entre les structures de recherche intéressées par de telles données et des relais locaux (clubs de plongées FFESSM, sentinelles, observatoires de la biodiversité marine, associations, etc.). Il pourrait également être pertinent, dans le cadre d'un tel programme de SC d'organiser des formations pour les participants sur la photographie d'ensembles sous-marins.

Par la suite, la conception d'une plateforme *web* 2.0 collaborative devra être opérée par un informaticien ou concepteur. Des chercheurs en écologie des communautés seront impliqués pour la vérification et le traitement des données collectées.

- **Budget :**

Un tel projet nécessite avant tout la familiarisation et l'accompagnement du public dans l'identification et la catégorisation des biocénoses algales par l'illustration sous forme d'un catalogue des typologies présentes le long des côtes françaises. Le financement à prévoir doit donc couvrir ce travail amont, ainsi que la création d'une plateforme *web* collaborative et la rémunération d'un responsable de projet. Les

composantes informatiques pourront également inclure des outils de marquage graphique (pointage, tracé, mesures, etc.). Le budget nécessaire est donc estimé entre 10 000 et 100 000 euros.

- ***Contraintes et limites :***

Ce projet de valorisation des photographies sur les biocénoses est subséquent, d'une part à la mise en place d'un programme de SC dédié, et d'autre part, d'un travail d'illustration photographique de la typologie des biocénoses benthiques.

La qualité des photographies jouera un rôle important dans la limite d'exploitation des données, d'où la nécessité d'encadrer et de guider les participants lors de leur collecte. De même, certaines limites inhérentes à la photographie, qui ne permet pas toujours une fidélité à la réalité et à la complexité des associations visibles sur le terrain, peuvent obérer la réalisation d'une analyse scientifique fiable et précise.

- ***État d'avancement et ressources disponibles :***

Un observatoire des paysages sous-marins avait été initié par Cybelle Méditerranée mais ce projet a été arrêté. Il s'agira donc d'un programme de SC unique et d'une piste d'exploitation de données citoyennes inédite en France comme à l'international.

ANNEXE 7 - TRAITS FONCTIONNELS

Intrants : Photographies et autres données

Domaine : Diversité fonctionnelle

- **Description du principe et objectifs :**

Malgré le nombre conséquent de programmes de SC (inventaire, suivi, etc.), encore peu s'intéressent à la diversité fonctionnelle et sollicite le participant à la collecte de traits.

L'utilisation des données SC portant sur la biodiversité, nécessitent dans le cas d'analyses à l'échelle des écosystèmes, le croisement avec des bases de données d'écologie fonctionnelle ou de traits. Seulement les données alors utilisées portent sur des sites différents, sur des populations différentes et correspondent finalement à des valeurs moyennes calculées pour ces cas d'étude. Compte tenu de la variabilité intraspécifique importante, utiliser ces données peut donc, dans certains cas, apporter un biais (Lavorel *et al.*, 2008; Albert *et al.*, 2011; De Bello *et al.*, 2011).

La science participative pourrait jouer un rôle dans cette problématique. D'une part, la création d'un programme ciblant les traits d'espèces pourrait être envisagée. Le public serait impliqué dans la mesure de certains traits *in situ* sans nécessiter de connaissances taxonomiques particulières, écartant ainsi les erreurs possibles d'identification des espèces survenant dans les programmes habituels.

D'autre part, les photographies issues des SC peuvent également être une source d'informations desquelles certains traits peuvent être extraits.

En France, les programmes de SC « Phénoclim » et l'« ODS » appartiennent à ce nombre restreint de programmes portant sur la diversité fonctionnelle en ciblant respectivement la phénologie des espèces, pour en analyser l'évolution et l'impact du changement global. STOC (LPO), quant à lui, implique le citoyen dans la capture pour réaliser des mesures de traits morphologiques (longueur de l'aile, taille, poids), mais ne s'adresse qu'à un public expert et aguerri à la capture d'oiseau.

Les macroalgues étant des organismes majoritairement fixés, la collecte de traits est particulièrement réalisable. L'approche de diversité fonctionnelle pour ces organismes consiste en la collecte de caractéristiques morphologiques, physiologiques, comportementales ou ayant trait à l'histoire de vie (Lange *et al.*, 2014).

Cependant, une phase de sélection des traits susceptibles d'être observés sur le terrain ou exploités à partir de photographies est au préalable nécessaire.

Pour la collecte *in situ*, les traits doivent correspondre à un niveau de complexité accessible au public. Il peut s'agir de mesures de la hauteur et l'emprise de l'algue ou d'observation sur le type de croissance, l'habitat, la formation de spore et le type de reproduction.

De même, pour les photographies, seuls les traits pouvant être figés seront extraits. Le type de croissance, l'habitat, la formation de spores et le type de reproduction peuvent être des traits visibles à partir d'une photographie si celle-ci répond à des critères de qualité, prise de vue rapprochée et de détail sur les spécimens.

Objectifs :

- Exploiter les données de SC en s'émancipant du verrou posé par les difficultés d'identification à l'espèce des photographies;
- Développer la démarche participative autour d'une approche différente de la diversité (généralement conçue sous le seul aspect de la diversité spécifique) et approfondir les connaissances citoyennes sur les traits fonctionnels et plus globalement sur le fonctionnement des écosystèmes;
- Alimenter les travaux de recherche portant sur la diversité fonctionnelle par des données issues de science participative.

- **Résultats attendus et applications :**

La détermination de certains traits fonctionnels à partir des photographies de SC viendrait compléter le recensement général des traits fonctionnels sur des taxons d'algues particuliers. Ces données permettent diverses analyses s'inscrivant dans l'étude de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, le suivi de leur évolution (dynamique) ou encore l'évaluation du bon état écologique d'un milieu ainsi que l'effet du changement climatique et des perturbations anthropiques sur les relations fonctionnelles et trophiques.

L'implication de citoyens (par participation de terrain ou photographies) dans une telle approche permettrait par ailleurs d'appréhender la diversité fonctionnelle à large échelle.

Enfin, le projet de base de données collaborative des traits fonctionnels des macroalgues (cf. partie 2.2) pourrait bénéficier indirectement de l'apport de ces données citoyennes.

- **Prérequis scientifiques :**

Au préalable, il est important de définir quels sont les traits potentiellement accessibles par une démarche citoyenne, d'une part, par observations et mesures *in situ*, et d'autre part, visibles sur les photographies.

Les perspectives d'utilisation de ces données devront également être réfléchies afin d'imposer clairement le protocole de renseignement aux participants, le format de sortie de données convenable ainsi que les modalités de regroupement et mise en commun de ces données.

Par ailleurs, une ontologie unique a été développée par le biais du projet de base de données sur les traits fonctionnels des algues à travers la mise en commun des données et l'homogénéisation des sémantiques associées (Robuchon *et al.*, s. d.; Le Gall, 2015b).

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique, il sera judicieux d'initier et d'accompagner la démarche du participant par l'élaboration d'un guide de détermination des données d'intérêts (sur photographies et sur le terrain).

Si le développement d'une initiative participative de terrain voit le jour, il faudra fournir des protocoles de relevés de données validés par les chercheurs impliqués et en adéquation avec leurs attentes.

Les photographies proposées devront être géolocalisées et répondre aux critères définis permettant leur exploitation (technique de prise de vue, qualité, etc.).

Une plateforme de dépôt de photographies et différentes fonctionnalités devront être créées pour permettre le renseignement des traits proposés. Il pourra s'agir d'un système d'entrée libre des caractéristiques ou à la validation de propositions fixes. La participation du citoyen dans la détermination des traits pourra être associée à un indice de confiance en fonction de son niveau de compétences et d'expertises afin d'orienter les priorités de vérification et de validation des données. Un espace dédié aux commentaires sur l'identification des traits ou encore un espace d'échange entre participants, peuvent être intéressants pour faciliter la communication entre eux ou avec les scientifiques responsables de projet et ainsi leur permettre la discussion lors de conflits ou d'incertitudes d'identification.

Le format des données intégrées aux bases de données concernées devra être pris en compte et dans la mesure du possible appliqué aux données, voire aux métadonnées, issues du programme. En rendant les données interopérables, cela réduira les efforts d'homogénéisation ultérieurs, faciliter leur intégration aux bases de données et ainsi favoriser leur utilisation et valorisation.

Notamment, il sera essentiel de consulter les données issues du projet de base de données collaborative qui seront disponibles sur le portail EMODNET.

- **Exigences organisationnelles :**

D'un point de vue organisationnel, des scientifiques devront être impliqués dans la vérification et le traitement des données collectées. Il sera notamment judicieux de se rapprocher des chercheurs travaillant sur la base de données collective qui pourront guider et superviser ce projet.

Quant à la création de la plateforme de dépôt de photographies ou une interface d'entrée intermédiaire de données, un informaticien ou concepteur *web* devra être mandaté.

Enfin, il sera peut-être nécessaire d'informer et de sensibiliser le public aux approches de diversité fonctionnelle et aux enjeux associés puisqu'il ne s'agit pas, en général, d'un domaine familier.

- **Budget :**

Dans le cas où une simple utilisation de photographies est envisagée (sans prendre en compte les coûts associés à un programme de collecte de données *in situ*), il ne serait question que de la création d'une plateforme de dépôt de photographies associée à une interface de notifications des traits fonctionnels. La rémunération d'un concepteur *web* à court terme et d'un responsable de projet sur le long terme est donc à considérer. Le budget initial n'est cependant pas sensé dépasser 10 000euros.

- **Contraintes et limites :**

La majeure contrainte de ce projet est que seulement un certain nombre de traits pourra être apporté par les photographies et/ou mesures de terrain de SC, mais pas la globalité. Il est donc essentiel de juger auparavant la plus-value de cet apport de données pouvant être qualifiées de « fractionnées ».

De plus, il est possible que certains participants, souvent habitués à l'identification de l'espèce étudiée, tel que se pratique classiquement la science participative dans les domaines de la biodiversité, soient frustrés par la nature de leur implication ne ciblant que des traits.

- **État d'avancement et ressources disponibles :**

Un tel programme serait inédit pour les sciences participatives dans le domaine marin.

En termes de ressources, la démarche pourrait être reliée avec le projet de base de données collaborative et notamment en suivant et adoptant l'ontologie définie.

ANNEXE 8 - IDENTIFICATION DES COMMUNAUTÉS SUR IMAGES SATELLITES

Intrants : Images satellites

Domaine : Diversité fonctionnelle

- **Description du principe et objectifs :**

Avec l'amélioration de la résolution spatiale des images issues de capteurs satellitaires, l'utilisation de ces images est en plein essor. Ces données renseignent sur la réponse de la terre face au changement climatique, aux perturbations anthropiques ou naturelles, et les satellites sont alors utilisés comme moniteurs dans de nombreux domaines (cultures, sylviculture, état des récifs coralliens, exploration de gaz et pétrole, état des littoraux, changement dans la couverture glacière), et notamment dans l'étude des changements sur les communautés algales de taille imposante (Byrnes, 2014).

En formant des canopées flottantes à la surface de l'eau, certaines algues sont facilement distinguables sur une vue par satellite. De plus, se trouvant dans un milieu marin, l'eau va jouer un rôle d'absorbance de la quasi-totalité de l'énergie infrarouge entrante et les communautés apparaissent alors très distinctement en utilisant un signal de réflectance infrarouge (Canavaugh, 2014).

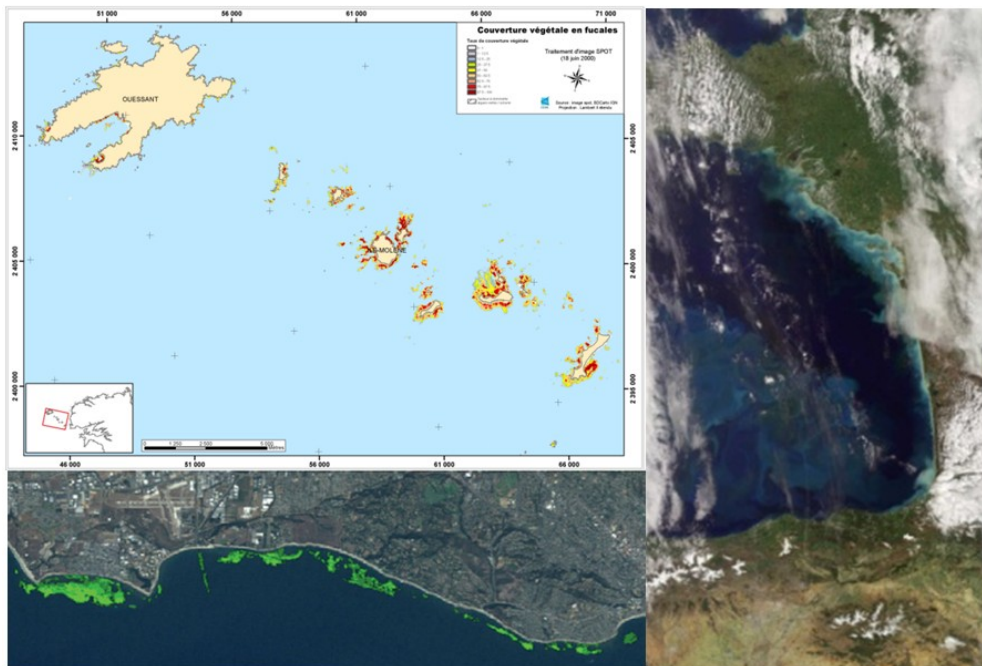
Le traitement de ces données est cependant très dispendieux en termes de temps et de ressources humaines. L'utilisation de logiciel de reconnaissance automatique n'est pas non plus performante, car les communautés algales, distinguables par l'œil humain, peuvent être confondues par les appareils avec d'autres objets (îles, nuages, etc.) (Canavaugh *et al.*, 2011). C'est pourquoi la science participative peut être une ressource judicieuse dans le report d'informations sur images satellites. « *Floating Forest* », un programme de science participative de *Zooniverse*, s'implante d'ailleurs efficacement en la matière, en proposant aux participants d'identifier de manière graphique les forêts de *kelp* visibles sur les images satellites recueillies.

Cette proposition va donc de pair avec la création d'un programme de SC français visant l'implication du citoyen dans le traitement d'images satellites à l'image de « *Floating Forest* » ciblant les forêts de *kelp*.

En France, les images satellites peuvent être obtenues par le biais de différents capteurs, dont IKONOS (Andréfouët *et al.*, 2003; Mumby et Edwards, 2002) et SPOT5 (Fournier *et al.*, 2004; Pasqualini *et al.*, 2005) (Cottonnec *et al.*, 2005).

Au niveau du littoral français, une telle piste ciblerait les communautés suivantes :

- Ceintures de Fucales
- Efflorescences des ulves
- Forêts de laminaires
- Herbiers de posidonies (Communautés pouvant être incluses même s'il ne s'agit pas d'algues)



a. Cartographie des ceintures de fucales après traitement des images satellites SPOT. **b.** Efflorescence algale dans le golfe de Gascogne depuis la caméra MERIS. **c.** Canopée de *Macrocystis pyrifera* à partir d'images satellites Landsat 5 (compilation d'après : Cavanaugh *et al.*, 2011; ESA, s. d.; Perrot et Mouquet, 2005).

Par ailleurs, des travaux de recherche visent à tester l'apport de la haute résolution spatiale à l'estimation de la couverture végétale et la discrimination des algues brunes, rouges ou vertes (utilisation des deux premiers canaux de SPOT et de l'infrarouge), ce qui permettra d'étendre la sélection à des groupes d'algues plus réduits tout en distinguant des taxons précis (Perrot *et al.*, 2003).

Objectifs :

- Développer la science participative pour des tâches dispendieuses en ressources humaines et temporelles;
- Créer un programme inédit en France de SC sur des images satellites;

- Obtenir des données sur les communautés algales repérables depuis l'espace et analyser leur dynamique au fil du temps et des perturbations rencontrées.

- **Résultats attendus et applications :**

Les résultats attendus sont l'acquisition de données de répartition et distribution de ces différentes données algales, et leur évolution au cours du temps, ce qui permettrait entre autres d'évaluer les effets du changement global sur ces organismes jouant un rôle fonctionnel important dans leur écosystème. Par ailleurs, et en ce qui concerne les efflorescences des ulves, cela favoriserait la surveillance de ce phénomène de prolifération et pourrait être utilisé par les gestionnaires des espaces concernés pour la mise en place de mesure de prévention et/ ou de protection et conservation.

Il est tout à fait réalisable de calculer la couverture algale à partir d'images satellites et de surveiller son évolution lorsque des images multi-dates sont à disposition.

De manière générale, cela enclencherait l'analyse massive du nombre considérable d'images satellites disponibles et allégerait de manière alternative l'investissement temporel des chercheurs pour cette tâche. Il peut également être envisagé une valorisation cartographique annuelle, tel un retour visuel des informations aux participants tout en servant de cartographies de suivi pour les scientifiques.

Les informations issues d'images satellites (répartition, ampleur, distribution géographique, impact du littoral et des activités humaines, etc.) sur les communautés algales peuvent également être capitalisées et bancarisées dans des bases de données.

- **Prérequis scientifiques :**

La mise en œuvre d'un tel projet demande au préalable l'effort scientifique dans l'acquisition d'images scientifiques, l'hébergement, voire un tri préliminaire des images pertinentes. En effet, de nombreuses images proposées par « *Floating Forest* » ne correspondent pas à des images marines, ce qui alourdit la tâche du participant. Par le biais d'un pré-tri, le public se verrait attribuer uniquement des images marines et n'auraient qu'à analyser s'il y a ou non présence de communautés algales et effectuer la manipulation graphique d'identification.

Il convient de déterminer quelles communautés algales peuvent être identifiées par de telles techniques. Trois propositions sont présentées dans cette analyse, mais cette liste est non exhaustive. De plus, il sera

nécessaire d'étudier si les communautés sélectionnées sont bien distinguables les unes des autres si elles sont considérées à travers un même programme de SC.

Comme toute utilisation scientifique des images satellites, ces dernières devront faire l'objet d'une série de corrections et de calibrations (calibration radiométrique, en luminance, en réflectance (par correction atmosphérique), masques, etc.) des images satellites avant de les proposer au public.

Pour remplir les objectifs de traçage de surface, et d'application d'une méthode d'identification ou de classification, il est indispensable d'ajouter une calibration radiométrique si elle n'est pas déjà planifiée dans le processus.

Soit, les opérations de traitement seront identiques à celles habituellement imposées par les scientifiques si elles sont satisfaisantes pour le repérage graphique par un public non scientifique sur les images, sinon le protocole de traitement devra être adapté à cette situation.

Quoi qu'il en soit, l'étude plus approfondie des méthodologies respectives « *Floating Forest* » et de l'équipe du REBENT brièvement présentées ci-après peut être judicieuse.

Les étapes de la procédure de « *Floating Forest* » consistent en :

- 1) Acquisition des images du satellite Landsat
- 2) Morcellement ces images en petits carrés et lancer une requête géospatiale du trait de côte (par le biais de PostGIS et du plug-in PostgreSQL)
- 3) Sélection des régions qui intersectent la ligne du littoral
- 4) Application d'un algorithme en tenant compte que l'agressivité de ce dernier entraîne le risque de perte de zones côtières s'entrecoupant ou d'aboutir à des images inutilisables.
- 5) Les données et méthodes pour le repérage graphique des communautés de *kelp* sont basées sur les travaux de Rassweiler *et al.* (2008) en comparant et calibrant les données de couverture algale issues des images satellites aux mesures effectuées sur le terrain et corrigées par une régression "*length-to-weight*". (Cavanaugh *et al.*,2011)

Quant aux étapes méthodologies du REBENT, elles se découpent en :

- 1) Acquisition d'images satellites SPOT, ou programmation lorsqu'il s'agit d'obtenir des images sur des périodes homogènes selon le régime des marées (dans le cas de suivi comparatif pluriannuel)
- 2) Acquisition d'ortho-photographies IGN pour caractériser le substrat et les grandes unités de végétation marine dans la zone de balancement des marées.
- 3) Acquisition et dépouillement de données d'altimétries obtenues par LIDAR ou par photogrammétrie

4) Acquisition et dépouillement des données issues de la BDPS du SHOM pour la détermination des contours de roches et autres éléments topographiques. (Perrot *et al.*, 2003)

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique, il est nécessaire de créer un site *web* dédié, composé d'une plateforme de diffusion des images satellites à identifier, ainsi que du logiciel associé pour le traitement graphique des communautés observées. Un tutoriel pédagogique doit également être élaboré pour accompagner le participant dans sa démarche.

Au préalable, les images satellites devront être traitées par les chercheurs responsables. Différentes méthodes sont disponibles comme vu précédemment. La participation du citoyen dans l'identification de ces images nécessite la création d'un système de marquage graphique pour mettre en évidence les communautés d'algues repérées.

Il devra également être possible au citoyen d'informer sur la mauvaise qualité d'une image afin que celle-ci soit retirée de la gamme étudiée (le programme « *Floating Forest* », quant à lui, a opté pour un système retirant automatiquement les images si aucun marquage n'est fait par trois utilisateurs différents).

Le repérage d'erreurs peut être issu de stratégies simples, comme requérir au minimum deux identifications par des internautes différents pour valider la présence d'une communauté algale sur l'image en question.

L'utilisateur devra également être sollicité à l'utilisation de *Google maps* lors d'incertitudes pour vérifier la localisation et la probabilité qu'il y ait bien une communauté de *kelp*, de fucus ou d'efflorescence d'ulves à cet endroit précis.

- **Exigences organisationnelles :**

D'un point de vu organisationnel, de nombreuses ressources humaines appartenant à différents domaines de compétences sont nécessaires pou l'acquisition et le traitement préalable des images des capteurs satellites, la création d'un logiciel d'analyse graphique et d'un site *web* dédié, la mise à jour et la maintenance en continu des images satellites nouvellement acquises et enfin la vérification des images traitées et leur analyse ultérieure.

Il serait possible de développer un relais français de « *Floating Forest* », mais ce programme proposant des images satellites ciblées sur la Californie, d'autres capteurs satellites doivent être sollicités pour l'obtention d'images de territoires français. Mais il serait pertinent de créer une antenne française qui

analyserait ses propres images satellites proposées par des équipes françaises, tout en conservant le concept de traitement graphique proposé par ce programme et en l'étendant à d'autres communautés algales que les forêts de *kelp*.

Par ailleurs, il peut être nécessaire, à l'échelle de la France, de se rapprocher de l'IFREMER et du REBENT qui réalisent d'ores et déjà des études de cartographies des communautés d'algues littorales à partir d'images satellites.

- **Budget :**

Cette voie nécessite la création du programme de SC associé et donc le recrutement d'un coordinateur pour ce dernier. De plus, une interface *web* pour la diffusion des images satellites et comprenant les fonctionnalités de marquage des communautés observées et la rémunération du concepteur sont à comptabiliser. Enfin, ce projet sous-entend l'acquisition et le traitement préalable des images satellites. Le budget initial est donc susceptible de s'inscrire dans une fourchette de 100 000 à un million d'euros. Cependant, l'association au programme « *Floating Forest* » et notamment l'utilisation de leur technologie de marquage graphique réduiraient considérablement les ressources financières nécessaires.

- **Contraintes et limites :**

Ce projet est dépendant de la création d'un programme de SC adjacent ou de la création d'un relais française au programme « *Floating Forest* ». Il s'agit par ailleurs, d'un projet qui demande l'implication de scientifiques en amont, qui repose sur une lourde logistique et requiert un certain coût (s'il y a création du logiciel graphique).

- **État d'avancement et ressources :**

Cette proposition s'inspire largement du programme international « *Floating Forest* » pour les forêts de *kelp* mais étendue aux communautés présentes en France. Elle est inédite parmi les programmes de SC français, mais l'utilisation d'images satellites pour l'analyse de communautés algales fait déjà l'objet d'études de certains laboratoires français (Ifremer, REBENT, etc.).

ANNEXE 9 - COLLECTE D'ÉCHANTILLONS, PHYLOGÉNIE ET *BARCODING*

Intrants : Collecte tissu et *vouchers*

Domaine : Diversité spécifique

- **Description du principe et objectifs :**

Il peut être envisagé d'impliquer le citoyen dans les travaux de taxonomie et d'étude de la diversité spécifique des algues par la collecte de tissus ou spécimens lors de leur plongée ou autre activité, puis d'envoyer leur récolte à un laboratoire de recherche récepteur qui pourra entreprendre l'analyse moléculaire ou la mise en herbier des différents échantillons.

Cela permettrait d'intégrer le citoyen dans le premier maillon de la recherche sur la diversité phylogénétique avec des collectes couvrant un large territoire géographique sans nécessité pour le public de posséder de compétences naturalises.

Cette proposition peut également jouer un rôle non négligeable dans la recherche sur la diversité phylogénétique et notamment le projet de *barcoding* par la multiplication de ressources disponibles pour les missions de terrain, et donc la possibilité de collecte massive d'échantillons sur une large emprise spatiale couverte par les participants.

Cette voie favoriserait également la collecte de données opportunistes et les chances d'aboutir à des résultats inattendus (nouvelles espèces, nouvelles limites de répartition des espèces, présence d'espèces exogènes, etc.).

Néanmoins, ce projet reste fonction de la création et la mise en place d'un programme de SC sur la collecte d'échantillons.

Objectifs :

- Employer les ressources de science participative dans la collecte d'un nombre conséquent d'échantillons;
- Informer le public sur l'approche de taxonomie moléculaire et les enjeux;
- Obtenir des données moléculaires issues de la science participative et alimentant les approches de *barcoding*.

- **Résultats attendus et applications :**

Ces données alimenteront les travaux de recherche sur la diversité spécifique et notamment ceux ayant trait à la taxonomie, la phylogénie et la phylogéographie ou permettront l'acquisition massive de séquences pour du *barcoding*. Par ailleurs, l'apparition de ce type de données en SC et son traitement surpasse le verrou actuel d'identification des algues sur caractères morphologiques en reposant sur une approche moléculaire.

Par ailleurs, il serait envisageable de proposer des protocoles avec quadrat, à l'image de ce qui se fait en botanique à travers le programme Vigie-Flore, afin de bénéficier de relevés permettant une approche d'écologie des communautés.

- **Prérequis scientifiques :**

Il est essentiel d'orienter les collectes vers des groupes d'espèces sous-étudiés ou ne disposant pas d'effort de collecte suffisant.

Il est également nécessaire pour les scientifiques impliqués de définir l'orientation de l'exploitation des données, s'il s'agit d'alimenter les bases de connaissances par du *barcoding* ou d'analyser la diversité phylogénétique ainsi que l'échelle spatiale d'intérêt (locale ou plus large).

- **Exigences techniques :**

D'un point de vue technique, la collecte de tissu ou d'échantillon doit être accompagnée d'une prise de vue du spécimen dans le milieu ainsi que de données GPS du site de collecte.

Les participants devront également disposer du matériel d'échantillonnage (silicagel, flacons, papier étanche, pochettes, etc.) et être sensibilisés aux méthodes de prélèvement et d'échantillonnage (unicité des numéros d'échantillons, biopsie, collecte intégrale, etc.).

Les laboratoires impliqués devront également prévoir des plages d'utilisation des machines réservées aux analyses des échantillons de SC.

- **Exigences organisationnelles :**

D'un point de vue organisationnel, une ou des structures de recherche doivent être identifiées pour la réception, le conditionnement et l'analyse des échantillons. Cela sous-entend également le dégagement de disponibilité de ressources humaines et temporelles pour le traitement et l'exploitation de ces données par des techniciens et chercheurs.

Des encadrants devront également être recrutés pour l'accompagnement du public lors des sorties terrains de collecte, la sensibilisation sur les techniques d'échantillonnage et contre les excès de prélèvement ou les erreurs de récolte (si collecte sur espèces ciblées).

- **Budget :**

En considérant que l'acquisition du matériel et l'envoi des échantillons restent à la charge du participant, et ce dernier est autonome et indépendant (pas d'encadrement ni de formation pour la collecte), il est tout de même à prévoir les coûts associés à l'analyse en laboratoire des échantillons reçus (extraction, PCR, Séquençage). Le budget, sur le long terme, sera donc supérieur à un million d'euros.

- **Contraintes et limites :**

Cette proposition demande une lourde logistique et est coûteuse. En effet, elle est dépendante de la disponibilité des ressources de laboratoires de recherche (humaine, temporelle, budget) pour le traitement de ces échantillons. Elle serait davantage réalisable si le développement et les coûts des méthodes de séquençage permettent l'utilisation massive de cette technique et notamment sur une multitude d'échantillons collectés par des citoyens.

Le citoyen doit également disposer du matériel nécessaire et pas toujours intuitif contrairement à un appareil photo par exemple. Il serait alors nécessaire de distribuer des kits d'échantillonnage pour la collecte de tissus.

- **État d'avancement et ressources disponibles :**

Cette démarche de collecte de tissus et *vouchers* pour l'analyse ADN ou la mise en herbier est inédite en France. La collecte de tissu ou de spécimen est déjà réalisée à l'étranger (au sein du programme de SC « RBSA »), et est sujette à des analyses morphologiques et anatomiques, mais pas moléculaires.