DIAL
Digital access to libraries

"Participation de citoyens volontaires de la population locale dans les mesures de la qualité de l'air autour de la zone industrielle de Fos-sur-Mer"

Dauphin, Charles-Enzo ; Dron, Julien ; Austruy, Annabelle ;
Agnan, Yannick ; Granier, Véronique ; Chamaret, Philippe

ABSTRACT

Les recherches scientifiques lancées par l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions (IECP) dans le cadre de l'observatoire citoyen de l'environnement ont pour objectif de produire des connaissances sur la pollution industrielle du territoire de l'Ouest de l'Étang de Berre, en collaboration avec les citoyens volontaires. Ces études intègrent au moins à une étape l'action des citoyens dans l'acquisition de données permettant d'épauler les scientifiques dans la compréhension de l'impact de la pollution sur l'environnement. En ce qui concerne le compartiment atmosphérique, l'institut a notamment recours à plusieurs organismes bioindicateurs, comme les lichens ou les pétunias, afin d'obtenir des connaissances supplémentaires sur l'état général de l'environnement du territoire. Après la création d'un protocole dédié à des observations citoyennes de l'environnement, chaque volontaire est formé à l'échantillonnage scie...

CITE THIS VERSION

Dauphin, Charles-Enzo ; Dron, Julien ; Austruy, Annabelle ; Agnan, Yannick ; Granier, Véronique ; et. al. *Participation de citoyens volontaires de la population locale dans les mesures de la qualité de l'air autour de la zone industrielle de Fos-sur-Mer.* In: *Pollution atmosphérique*, Vol. 236, no.1, p. 1-10 (2018) http://hdl.handle.net/2078.1/219876 -- DOI : 10.4267/pollution-atmospherique.6502

Le dépôt institutionnel DIAL est destiné au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques émanents des membres de l'UCLouvain. Toute utilisation de ce document à des fin lucratives ou commerciales est strictement interdite. L'utilisateur s'engage à respecter les droits d'auteur lié à ce document, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit à la paternité. La politique complète de copyright est disponible sur la page Copyright policy

DIAL is an institutional repository for the deposit and dissemination of scientific documents from UCLouvain members. Usage of this document for profit or commercial purposes is stricly prohibited. User agrees to respect copyright about this document, mainly text integrity and source mention. Full content of copyright policy is available at Copyright policy

Available at: http://hdl.handle.net/2078.1/219876

[Downloaded 2020/02/18 at 14:56:44]

Participation de citoyens volontaires de la population locale dans les mesures de la qualité de l'air autour de la zone industrielle de Fos-sur-Mer

Involving volontary citizens of the local population in air quality monitoring around the industrial area of Fos-sur-Mer

Charles-Enzo Dauphin[1,*], Julien Dron[1], Annabelle Austruy[1], Yannick Agnan[1,2], Véronique Granier[1], Philippe Chamaret[1]

Résumé

Les recherches scientifiques lancées par l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions (IECP) dans le cadre de l'observatoire citoyen de l'environnement ont pour objectif de produire des connaissances sur la pollution industrielle du territoire de l'Ouest de l'Étang de Berre, en collaboration avec les citoyens volontaires. Ces études intègrent au moins à une étape l'action des citoyens dans l'acquisition de données permettant d'épauler les scientifiques dans la compréhension de l'impact de la pollution sur l'environnement. En ce qui concerne le compartiment atmosphérique, l'institut a notamment recours à plusieurs organismes bioindicateurs, comme les lichens ou les pétunias, afin d'obtenir des connaissances supplémentaires sur l'état général de l'environnement du territoire. Après la création d'un protocole dédié à des observations citoyennes de l'environnement, chaque volontaire est formé à l'échantillonnage scientifique ou à la reconnaissance d'espèces lichéniques, par exemple. Les données ainsi récoltées par la population locale sont d'une aide cruciale pour les scientifiques.

Mots-clés

pollution, air, bioindicateur, bioindication, lichen, *Petunia hybrida*, zone industrielle sciences citoyennes

Abstract

The scientific projects initiated by the Ecocitizen Institute for the Knowledge of Pollutions as part of its Citizen Observatory for Environment, aim to produce knowledge in collaboration with voluntary citizens about the pollution in a industrial area located in the South of France (West of Berre Lagoon). To support the researchers in the comprehension of the impact of pollution on the environment, these studies integrate at least at one stage of data acquisition the implication of citizens. In order to obtain an enlarged knowledge about the global situation of the territory's environment, the Institute uses several bioindicators such as lichens or Petunia hybrida. After the creation of a protocol dedicated to citizen observation, each volunteer is for example trained to robust scientific sampling or to the identification of lichenic species. The data collected by the local population are a crucial assist to scientists.

Keywords

pollution, air, bioindicator, biomonitoring, lichen, Petunia hybrida, industrial area participative sciences

*charles-enzo.dauphin@institut-ecocitoyen.fr
(1) Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions (IECP), Fos-sur-Mer, France
(2) UMR 7619 METIS, université Pierre et Marie Curie-Paris 6, France

https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6502

1. Introduction

Le pourtour de l'étang de Berre constitue l'une des zones géographiques en France les plus exposées à la pollution industrielle. La Zone Industrialo-Portuaire (ZIP) de Fos-sur-Mer, construite à partir de la fin des années 1960, est progressivement devenue la première zone portuaire de France et l'un des plus importants sites industriels au niveau européen. Afin d'améliorer les connaissances touchant à la pollution de l'air induite par une zone industrielle de cette envergure, la population locale est invitée à accompagner les scientifiques dans l'identification de problématiques environnementales, le développement de méthodologies ou encore la réalisation de mesures (programme VOCE : Volontaires pour l'Observation Citoyenne de l'Environnement). Ainsi, l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions (IECP) a mis en place différents protocoles scientifiques en collaboration avec les riverains volontaires permettant d'intégrer de fait la perception de la population locale dans des études scientifiques au niveau de leur élaboration et des mesures.

En particulier, dans le cadre du suivi citoyen de l'exposition à la pollution atmosphérique, volontaires et scientifiques ont collaboré dans le cadre de deux actions de biosurveillance environnementale. L'IECP propose ainsi une formation aux citoyens à l'identification d'un groupement réduit d'espèces de lichens pouvant fournir une première vue d'ensemble de la qualité de l'air du territoire. Aujourd'hui, les lichens sont considérés comme des bioindicateurs pertinents de la qualité de l'air, en l'absence de racine, ils puisent et accumulent nutriments et polluants uniquement via l'atmosphère (LeBlanc et Sloover, 1970 ; Bargagli, 1987 ; Nimis *et al.,* 2002 ; Castell, 2009 ; Agnan, 2013). Le protocole d'étude adapté à une utilisation citoyenne permet de recueillir des données d'abondance lichénique qui sont interprétées et intégrées par l'IECP. Ces données permettent aux scientifiques à la fois d'observer et de comparer une vue d'ensemble de la qualité de l'air des différentes stations à l'étude, mais également de privilégier et cibler par la suite des travaux au sein de zones où des évolutions du cortège lichénique ont été signalées par les volontaires. Les premières campagnes de reconnaissance de lichen réalisées par les volontaires ont mobilisé 22 riverains de trois communes différentes, entre juin et septembre 2015. Une commune en périphérie de la ZIP de Fos-sur-Mer a bénéficié d'une concentration particulière de station d'étude visant, en partenariat avec le ministère de l'Environnement, à doter cette commune d'un outil de mesure de la qualité de l'air citoyen. Les volontaires sont ainsi directement formés à la reconnaissance des différentes morphologies de lichens, mais également à l'identification de quatre espèces ayant un seuil de polluotolérance bien distinct.

Ajouté à la biosurveillance lichénique, l'IECP s'est attaché à utiliser un bioindicateur végétal de la pollution de l'air plutôt connu pour sa réponse à l'exposition aux COV : Petunia hybrida. Les travaux de bioindication par les pétunias suggèrent un effet de la pollution atmosphérique sur le développement morphologique de cette plante (Posthumus, 1983 ; Pleijel *et al.,* 1994 ; Tonneijcka *et al.,* 2003 ; Underwood *et al.,* 2005], qui entraîne chez les pétunias une réduction du développement, ainsi que l'apparition de modifications morphologiques visibles à l'œil nu. Dans le cadre de cette étude, les volontaires ont été directement formés à la mise en place d'une méthode de biosurveillance de la qualité de l'air par la mesure de 7 paramètres morphologiques définissant le développement général de la plante durant 8 semaines. L'appel aux volontaires a permis de travailler simultanément avec 8 volontaires pour 10 stations d'étude, entre avril et juin 2014, et 11 volontaires pour 16 stations, entre avril et juin 2015.

L'originalité du programme VOCE consiste à intégrer l'action des volontaires dans l'acquisition des données scientifiques. Le réseau de volontaires est chargé à la fois de faire remonter des témoignages et des questions à investiguer, et de la mise en œuvre de certaines actions de recherche. Une partie de la littérature existante, qui porte sur les sciences citoyennes, se concentre plutôt sur des suivis participatifs de la biodiversité à des fins de connaissance des milieux et espèces (Irwin, 1995 ; Callon, 2001 ; Ottinger, 2009, 2010 ; Kinchy *et al.*, 2015). Dans ce contexte, les recherches menées par l'IECP apparaissent comme la production de nouvelles connaissances, solides et localement pertinentes en tenant compte du besoin et de la participation de la société civile de cette zone. La participation d'une cinquantaine de volontaires, issus d'associations de protection de l'environnement, de salariés de l'industrie ou simples néophytes de la science environnementale, permet de rassembler tous ces usagers réguliers du territoire autour de la compréhension et l'étude de l'environnement.

La pertinence de ces données ainsi récoltées est assurée par une formation théorique et technique de chaque volontaire, mais également par un contrôle rigoureux réalisé par les scientifiques de l'institut lors d'échantillonnages aléatoires réalisés par les volontaires. Les deux études de bioindication présentées ici s'inscrivent dans une démarche globale d'évaluation de la qualité de l'air d'une zone sous influence industrielle et de son environnement proche, apportant à la fois une multiplication des données scientifiquement pertinentes tout en impliquant la population dans une démarche scientifique d'évaluation de la qualité de l'air. La population locale s'avère être d'une assistance et d'une pertinence scientifique remarquables, permettant une réelle coproduction de la connaissance entre scientifiques et volontaires, en apportant un nombre conséquent de mesures (Gramaglia et Dauphin, 2017).

2. Contexte général

2.1. Zone d'étude

Basée sur des atouts majeurs comme des plates-formes industrielles lourdes, un port en eau profonde et un réseau de communication maritime, routière, ferroviaire, fluvial et aérien, ce sont plus de 10 000 ha de grands groupes industriels de sidérurgie, pétrochimie, chimie ou encore d'énergie qui se partagent la zone depuis les années 1970. Des industriels comme Total et Esso (pétrochimie), ArcelorMittal (sidérurgie), Lyondell Bassel et Naphtachimie (chimie), ou Kerneos (fabrication de ciment), avoisinant un incinérateur de déchets ménagers, représentent un panel d'industries lourdes considérablement émettrices de polluants atmosphériques. Il existe 650 ICPE autour du golfe de Fos-sur-Mer et de l'étang de Berre, dont 501 sont sous le régime d'autorisation et 57 soumises à la directive européenne Seveso (ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015). La ZIP génère aujourd'hui des préoccupations sanitaires et environnementales sur les zones écologiques cruciales situées à proximité, étant localisée entre le parc national de Camargue et la réserve naturelle de la Crau. Le territoire renferme aussi sept zones classées Natura2000, dont quatre sites d'intérêts communautaires et trois zones de protection spéciale. Au début des années 2000, une nouvelle vague d'implantations de sites industriels ainsi que l'installation de l'incinérateur d'ordures ménagères de Marseille a entraîné une brutale prise de conscience des populations concernant les atteintes environnementales et sanitaires générées par ce complexe industriel (Austruy *et al.*, 2016 ; Boudjellaba *et al.*, 2016 ; Dron *et al.*, 2017 ; Goix *et al.*, 2017 ; Sylvestre *et al.*, 2017 ; Ratier *et al.*, 2018). L'impact sanitaire ainsi que cette richesse écologique de plus en plus menacée par la présence de ces industries sont devenus une priorité pour l'IECP.

2.2. Observatoire citoyen de l'environnement

L'IECP, fondé en 2010, est un centre d'études de l'environnement et de l'impact des pollutions sur la santé. C'est aussi une structure d'acquisition de la connaissance, tant du point de vue scientifique que du point de vue citoyen. Elle permet d'animer la politique scientifique sur un territoire, dans le but de reconstruire un tissu d'acteurs et de fonder la décision d'aménagement sur un raisonnement légitime et accepté par toutes les parties autour du questionnement émanant de cette zone industrielle. La particularité de cet institut de recherche tient à sa structuration. Outre son personnel scientifique, l'institut s'appuie sur un observatoire citoyen de l'environnement. À travers cet observatoire, l'Institut écocitoyen vise à répondre à une demande croissante sur les impacts écologiques et sanitaires des zones industrielles du golfe de Fos-sur-Mer et de l'étang de Berre, en intégrant la population directement dans une réelle approche scientifique, permettant à la fois d'être une source informative, mais également de fonder des échanges sur un socle de confiance entre science et citoyen. L'observatoire est ainsi chargé d'écouter les témoignages et observations des différents riverains du territoire concernant des questions de pollution environnementale, et d'y répondre par un protocole d'étude produisant directement de nouvelles connaissances pertinentes. Cet observatoire propose ainsi aux citoyens d'observer leur environnement, en participant directement à certaines études lancées par l'institut ou même en proposant des suivis des milieux spécifiques. Ces études, basées sur des protocoles scientifiques réalisés en étroite collaboration entre les chercheurs de l'institut et les volontaires, intègrent au moins à une étape l'action des citoyens dans l'acquisition de données avec des formations adaptées. Les volontaires peuvent ainsi être amenés à intervenir lors des phases préliminaires (reconnaissances de terrain, historiques d'usages, choix d'espèces…) et des phases opérationnelles (réalisations de prélèvements, suivis de paramètres…). L'intérêt mutuel est ainsi de répondre à un questionnement précis à l'aide de nos connaissances scientifiques, en façonnant des études scientifiques d'une ampleur multipliée par l'intervention des volontaires.

3. Observatoire citoyen de l'environnement et pollution de l'air

3.1. Observation de la biodiversité lichénique par les citoyens

Les caractéristiques biologiques des lichens (absence de racines, absence de cuticules de protection, absence d'un système d'excrétion et activité quasi annuelle) font de cet organisme un solide bioindicateur de la qualité de l'air. Certains sont plus polluotolérants (ou polluosensibles) que d'autres. Leur présence (ou absence) et la composition des populations (diversité) sont à elles seules des indices utiles pour qui sait les repérer et les interpréter. Ainsi, suivant leur sensibilité face aux polluants, ils seront généralement peu diversifiés dans des zones fortement polluées, alors qu'à l'inverse, ils seront diversifiés dans des régions non polluées. De par cette sensibilité, les lichens sont utilisés comme bioindicateur de la qualité de l'air (LeBlanc et Sloover, 1970 ; Bargagli, 1987 ; Nimis *et al.*, 2002 ; Castell, 2009 ; Agnan, 2013 ; Agnan, 2014 ; Dron *et al.*, 2017). Ils ont également donné lieu, en France, à la définition de méthodes normalisées pour l'observation et l'interprétation de la diversité lichénique (AFNOR 2014, NF 16413), mais aussi de méthodes d'échantillonnage adaptées pour la biosurveillance de la qualité de l'air (AFNOR 2013, NF X43-904) dans les

années 2010. En ce qui concerne la bioindication par la diversité lichénique, la démarche consiste à réaliser un relevé de flore lichénique, c'est-à-dire déterminer les différentes espèces présentes et leur fréquence d'apparition.

Pour pallier l'absence de matériel scientifique disponible pour les volontaires (microscope, loupe binoculaire...) tout en assurant une rigueur scientifique permettant une interprétation pertinente des données récoltées, le protocole de bioindication a été adapté à l'observation citoyenne sur le territoire (figure 3). Le relevé est effectué sur les quatre faces de chacun des 10 arbres d'une placette à l'aide d'une grille d'observation composée de cinq mailles de 10 x 10 cm superposées verticalement. Pour éviter l'influence du sol, la grille est placée à au moins 1 m de hauteur. Pour déterminer la fréquence des espèces lichéniques, on note la présence ou l'absence de ces dernières dans les différentes mailles de la grille d'observation, soit une fréquence allant de 0 (espèce absente) à 5 (espèce présente dans toutes les mailles). Ces fréquences sont indiquées pour chaque face de l'arbre sur la fiche de terrain. Les volontaires, après une formation à l'identification, effectuent le relevé sur les quatre faces de cinq arbres en deux parties bien distinctes :

- la première est d'identifier les différentes morphologies lichéniques (crustacés, foliacés et fruticuleux) sans identification des espèces ;
- la deuxième partie concerne l'identification de quatre espèces de lichens (figure 1) sélectionnées au préalable en fonction de leur reconnaissance, de leur présence dans cette zone d'étude et de leur sensibilité à la pollution atmosphérique (tableau 1).

3.2. Bioindication de la pollution atmosphérique par *Petunia hybrida*

En 2014, l'Institut écocitoyen pour la connaissance des pollutions a utilisé Petunia hybrida pour évaluer l'exposition de plusieurs communes aux émissions atmosphériques polluantes d'origine industrielle, urbaine ou routière (Dauphin, 2016). Cette étude a permis de mettre en évidence une réponse différente des pétunias en fonction des communes et surtout en fonction du niveau d'exposition aux polluants atmosphériques. De ce fait, les modifications physiologiques les plus importantes observables chez Petunia hybrida sont directement reliées à la proximité des installations industrielles et des grands axes routiers et non à la proximité de la mer (Villarino, 2014 ; Dauphin, 2016). L'influence des embruns marins sur le développement des pétunias s'est avérée quasi nulle. Les plantes exposées aux embruns marins, tout en étant éloignées de toutes sources industrielles, ont témoigné d'un développement morphologique comparable à notre station témoin (Dauphin, 2016). L'influence industrielle semble être le facteur le plus important pouvant expliquer les différences de développement entre nos stations à l'étude. Les résultats obtenus en milieu rural, à plus d'une vingtaine de kilomètres de toute source d'émission industrielle potentielle, ont révélé un développement global plus important.

Tableau 1. Caractéristique des espèces à identifier par les volontaires.
Characteristics of lichen species identified by the volunteers.

Espèce	Type de thalle	Sensibilité à la pollution atmosphérique*
Xanthoria parietina	Crustacés	3
Physia biziana	Crustacés	2
Flavoparmelia sorediens	Foliacés	1
Ramalina sp	Fruticuleux	1

* : Sensibilité à la pollution atmosphérique :
3 = faible ; 2 = intermédiaire ; 1 = forte.

L'Institut écocitoyen a décidé la mise en place d'une nouvelle campagne d'étude de 8 semaines entre avril 2015 et juin 2015 avec le concours de plusieurs volontaires, regroupant 16 stations d'étude réparties sur

Xanthoria *Physia* *Flavoparmelia ramalina sp. parietina biziana* *Sorediens*

Figure 1. Photographie des quatre morphologies de lichen à identifier par les volontaires.
Illustration of the four lichen morphology identified by the volunteers.

Figure 2. Exemple de station d'étude de Petunia hybrida.
Example of a Petunia hybrida study station.

le territoire (figure 3) et composées chacune de six plants de *Petunia hybrida* (Dauphin, 2016). Comme en 2014, les 102 plants de pétunia ont connu les mêmes conditions de germination et de croissance jusqu'à leur acquisition : une date de semis et des conditions d'exposition et d'irrigation analogues. Les plants sont ainsi considérés comme identiques, et sont tous mis en culture dans des pots sphériques d'une contenance de 2L avec un terreau universel unique. Les plants sont ensuite répartis aléatoirement pour former un ensemble de 6 pots par station, permettant un échantillonnage statistique suffisant.

Les conditions de culture ont été définies pour obtenir les conditions les plus analogues possibles entre les stations. Un même terreau de rempotage de type universel additionné à des billes d'argile (permettant un drainage simplifié des pots) a été utilisé pour l'ensemble des pots, en l'absence totale d'intrants chimiques et naturels, homogénéisant ainsi le substrat sur l'ensemble de nos stations. Concernant l'exposition lumineuse des stations, ces dernières ont toutes été placées de façon à avoir un ensoleillement permanent tout au long de la journée. La fréquence d'irrigation a été définie à hauteur de 250 mL d'eau

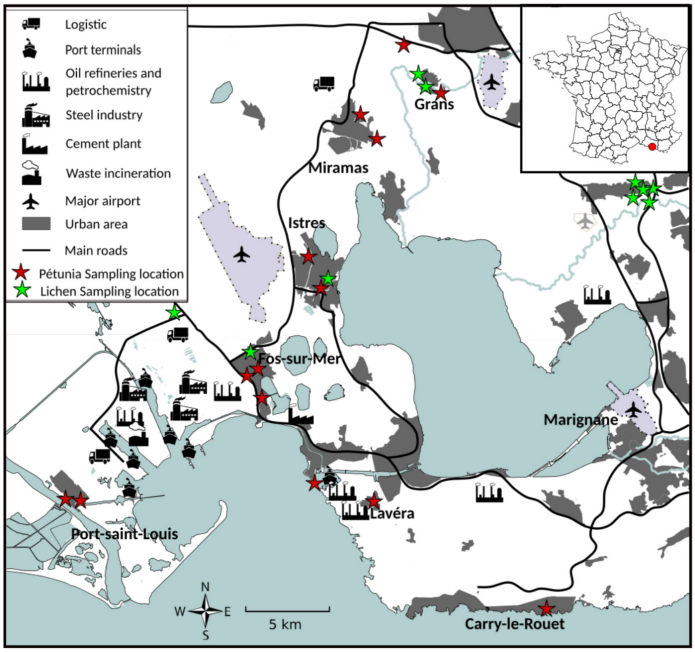

Figure 3. Cartographie de la zone et des sites de mesures et d'observations pour les études volontaires de bioindication de la qualité de l'air par les lichens et Petunia hybrida.
Mapping of the stations concerned by the volunteers bioindication studies of air quality with lichens and Petunia hybrida.

par pot tous les deux jours. Une eau identique est fournie à chaque volontaire, permettant ainsi d'homogénéiser les apports en eau de l'ensemble de nos 17 stations d'étude. À noter que seul un épisode pluvieux important durant la campagne s'est substitué à l'arrosage manuel des plants. L'ensemble des volontaires participant à cette étude ont été chargés, après formation, à la mesure de 6 paramètres : le comptage du nombre de fleurs fraîches/nécrosées, de bourgeons et de feuilles nécrosées, ainsi que la mesure de la taille des plants et du diamètre des fleurs. Une fréquence d'échantillonnage bimensuelle a été maintenue tout au long de l'étude (tableau 2). Enfin, le poids sec de chaque plant en fin d'étude a été déterminé après lyophilisation dans les locaux de l'IECP.

4. Pertinence de l'observatoire citoyen de l'environnement

4.1. Observation lichénique

L'observation des proportions des différentes morphologies de lichens est une donnée nécessaire permettant d'obtenir une première vision générale de la diversité lichénique des placettes d'observation. La sensibilité de ces morphologies est différente en fonction de la qualité de l'environnement atmosphérique. En règle générale, les fruticuleux sont les espèces de lichens les plus sensibles à la pollution atmosphérique, contrairement aux crustacés qui sont majoritairement les moins sensibles. Les lichens foliacés sont, quant à eux, en moyenne plus sensibles à la pollution atmosphérique que les lichens crustacés, et moins que les fruticuleux. À noter que les espèces identifiées ici tolèrent des concentrations relativement élevées de NaCl, excluant ainsi l'influence des embruns marins sur le développement de ces différents lichens (Clauzade et Roux, 1987 ; Agnan, 2013). Des travaux antérieurs réalisés par l'IECP ont permis d'exclure l'influence des embruns marins sur la diversité lichénique. Des relevés de diversité effectués sur des stations proches de la mer ont révélé des indices de diversité caractéristiques d'une bonne qualité de l'air, une qualité cohérente avec les mesures effectuées par l'AASQA locale. Quoi qu'il en soit, la sensibilité à la qualité de l'air est aussi très variable selon les espèces, même au sein d'une même morphologie. Les résultats obtenus selon ce protocole constituent donc une première indication qu'il conviendra de préciser si une plus grande fiabilité devenait nécessaire.

La précision obtenue par l'identification de quatre espèces de lichens au sein des placettes d'observations, selon le protocole établi pour les volontaires (figure 4), peut permettre une interprétation plus approfondie et pertinente des relevés lichéniques. Les stations concernées ici représentent quatre villes différentes, avec une exposition industrielle également différente :

- **Fos-sur-Mer** : station à caractère industrialo-urbain ;
- **Istres et La-Fare-les-Oliviers :** stations à caractère urbain ;
- **Grans** : station à caractère rural.

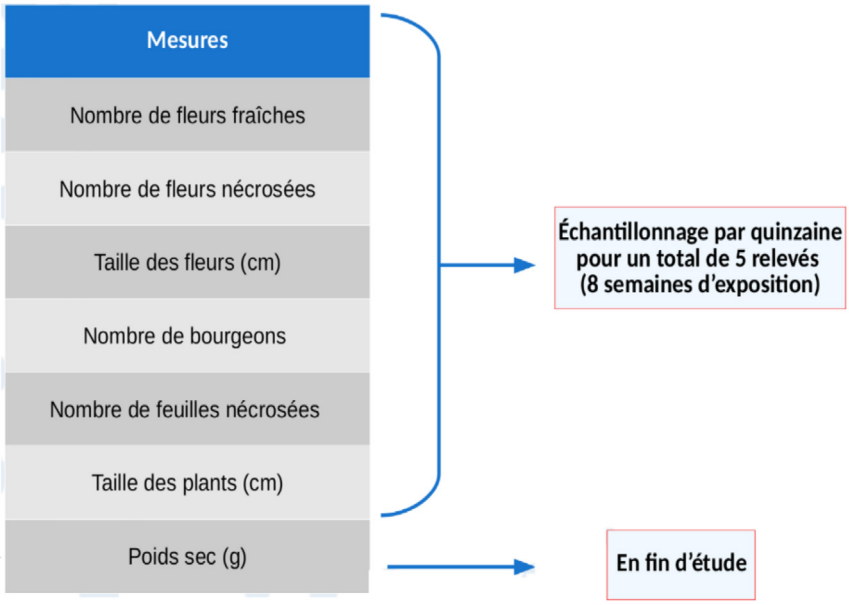

Tableau 2. Paramètres morphologiques mesurés chez Petunia hybrida.
Morphological parameters measured in Petunia hybrida.

En règle générale, nous observons la présence majoritaire du *Xanthoria parietina* (espèce la plus tolérante à la pollution échantillonnée ici) chez les stations présentes à Fos-sur-Mer et La-Fare-les-Oliviers, affichant même une proportion supérieure à 80 % pour la station à caractère industriel à Fos-sur-Mer. La proportion de présence de *Physcia biziana* se voit augmenter au sein des stations à caractère urbain. Le *Flavoparmelia soredians*, espèce relativement sensible à la pollution, n'est que rarement identifié au sein des stations de Fos-sur-Mer et La-Fare-les-Oliviers. Cependant, il devient l'espèce présente en majorité au sein des stations d'Istres et Grans. La station Grans, ici définie comme la station la plus éloignée de toute source potentielle en polluants atmosphériques, voit sa diversité lichénique se scinder en seulement deux espèces : Le *Flovoparmelia soredians* et le *Ramalina sp*. La particularité de ces deux espèces est qu'elles représentent les espèces lichéniques les plus sensibles à la pollution atmosphérique analysées ici, concordant ainsi avec les hypothèses concernant l'exposition en polluant atmosphérique.

Ces résultats ont également été comparés aux relevés effectués par l'IECP sur plusieurs stations réparties sur le territoire (figure 5). Cette comparaison permet à la fois de vérifier si la prise de données volontaire concorde à la tendance générale enregistrée par les scientifiques (Dron *et al.*, 2017), mais également de confronter les relevés effectués par les volontaires au sein de stations localisées plus proches de la ZIP de Fos-sur-Mer (Caban, Lavéra, Tonkin) et des stations moins exposées en théorie (Grans, Destet).

Cette comparaison de résultats nous permet d'observer une tendance générale relativement proche entre les relevés effectués par les volontaires et ceux réalisés par les scientifiques spécialisés. Les stations à caractère industriel voient leur diversité lichénique représentée majoritairement par le *Xanthoria parietina.* Les stations urbaines voient leur diversité s'enrichir en espèces relativement plus sensibles à la pollution atmosphérique comme *Flovoparmelia soredians* ou *Physcia biziana.* Les stations rurales sont représentées par une diversité lichénique plus importante et comprenant des espèces plus sensibles.

L'évolution de la diversité lichénique des stations reste ainsi largement comparable entre les relevés effectués par les scientifiques et les volontaires. L'observation citoyenne s'avère être un outil efficace pour la caractérisation de placettes lichéniques, dans la mesure du protocole défini ici. Ce protocole d'observation n'a pas prétention à pouvoir définir précisément la pollution atmosphérique locale. Les données ainsi compilées deviendront plutôt exploitables dans le temps pour observer d'éventuelles variations des cortèges lichéniques, avec une bonne complémentarité des deux aspects du protocole proposé par l'Institut écocitoyen. L'interprétation des résultats est parfois difficile à associer à la qualité de l'air, ce qui pourrait être amélioré en adaptant les espèces recherchées. Le rôle des citoyens devrait aussi trouver sa place

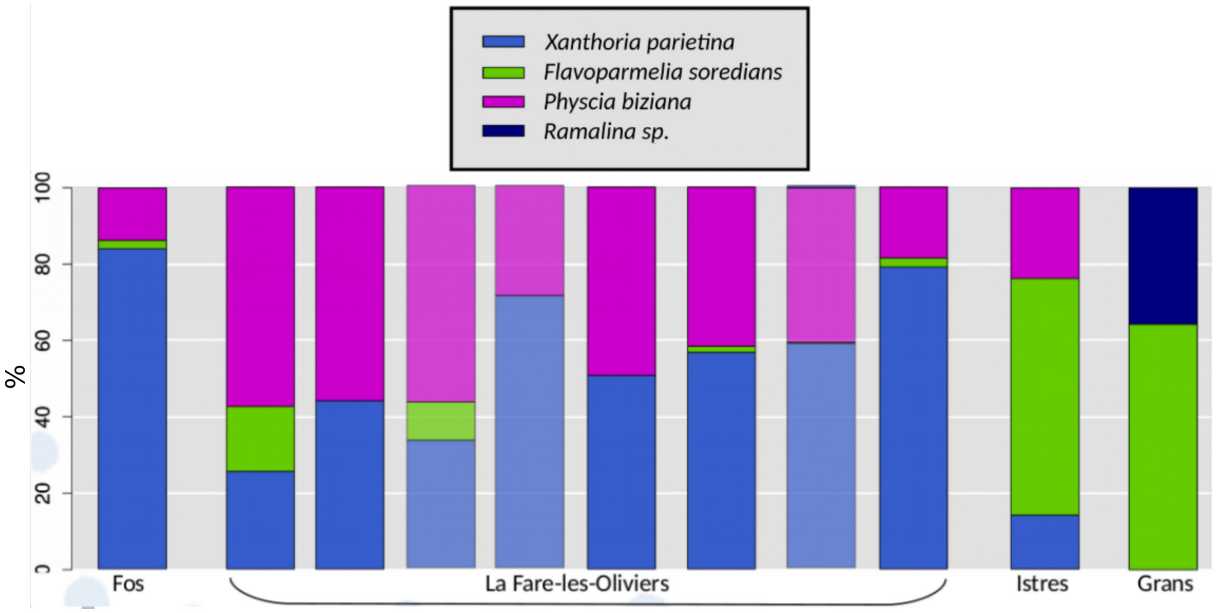

Figure 4. Pourcentage de lichens X.parietina, F.soredians, P.biziana et Ramalina sp. échantillonné par les scientifique de l'IECP (en partie rapportées dans Dron et al., 2017).

Percentage of X.parietina, F.soredians, P.biziana et Ramalina sp. lichens sampled by IECP scientists (partially reported in Dron et al., 2017).

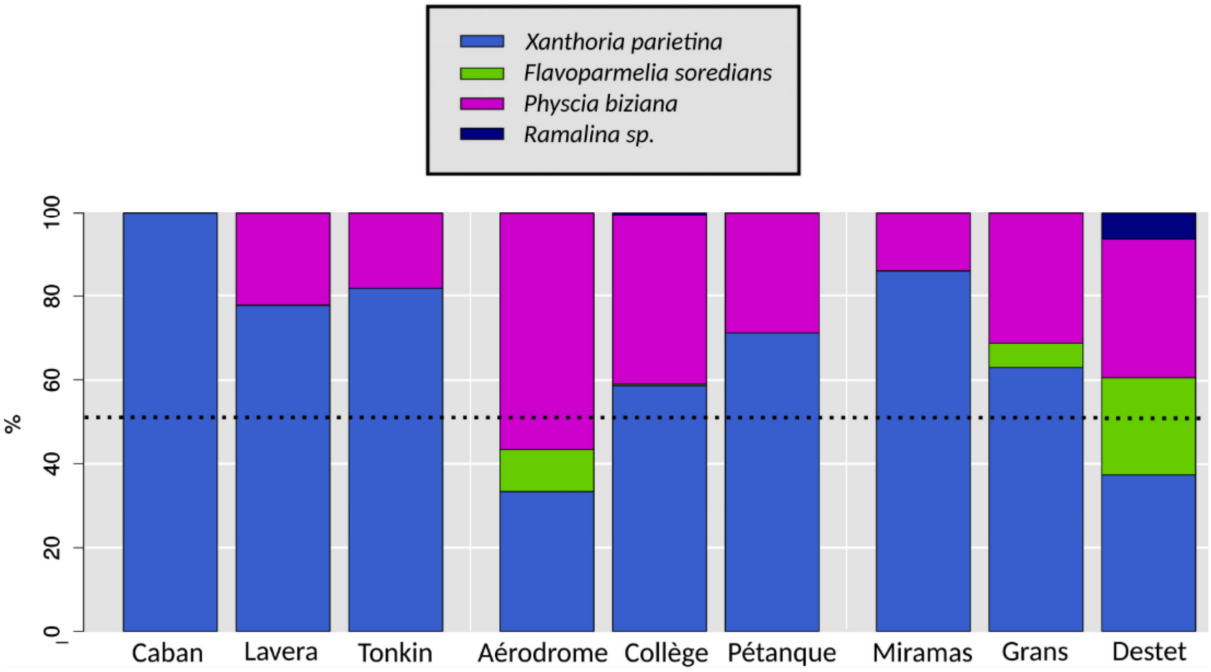

Figure 5. Pourcentage de lichens X.parietina, F.soredians, P.biziana et Ramalina sp. échantillonné par les scientifiques de l'IECP (en partie rapportées dans Dron et al., 2017).

Percentage of X.parietina, F.soredians, P.biziana et Ramalina sp. lichens sampled by IECP scientists (partially reported in Dron et al., 2017).

car il devrait permettre d'identifier des modifications importantes des cortèges lichéniques permettant aux scientifiques de l'IECP de cibler leurs recherches et prélèvements futurs.

4.2. Bioindication par les pétunias

L'utilisation du réseau de volontaires s'est avéré être un outil indispensable concernant la prise de données nécessaires à ce type d'étude. Essayant d'apporter de la représentativité sur un territoire conséquent, l'échantillonnage dédié à ces études ne pouvait être envisageable qu'avec la participation et l'implication de moyens humains importants. Ce sont les volontaires du réseau VOCE qui ont constitué cette équipe. Cette implication ne se résume pas à un volontariat au sein de l'observatoire citoyen de l'environnement, mais se trouve déterminée à réaliser un échantillonnage scientifiquement rigoureux. Chaque volontaire a été formé, par un scientifique de l'IECP, à l'échantillonnage précis sur *Petunia hybrida* de sept paramétrés morphologiques. Des contrôles aléatoires réalisés sur la majorité des stations à l'étude, consistant à comparer la mesure effectuée par le scientifique en charge de l'étude et celle réalisée par un volontaire sur une même station et à un temps donné, témoignent d'un échantillonnage efficace et applicable à un traitement scientifique et statistique. Le but était de déterminer la fiabilité et la précision des mesures réalisées par les volontaires en comparaison avec celles du scientifique chargé de l'étude, plus familiarisé à l'utilisation de ce type de protocoles (tableau 3).

Il est ainsi apparu une différence de 1 % en moyenne sur les mesures (tailles des plants/diamètre fleurs) et 3,7 % en moyenne sur le comptage (fleurs/bourgeons/feuilles), attestant d'un échantillonnage scientifiquement rigoureux effectué par les volontaires. Ces variabilités particulièrement faibles certifient d'une formation efficace et d'une grande rigueur des volontaires conduisant à la prise de données pertinentes et applicables à un traitement statistique. Pour le décompte de boutons floraux viables ou de fleurs vivantes, aucune différence n'est observée entre le contrôle et le relevé réalisé par le volontaire. Pour les autres paramètres, une rare différence est discernable pour certaines stations. Une différence de quelques millimètres pour la longueur de la tige principale ou le diamètre floral, à un oubli de seulement un ou deux individus concernant les autres paramètres, rendant le pourcentage d'erreur très faible en moyennant avec les 6 pots propres à chaque station.

L'implication des volontaires dans l'étude et la fiabilité des mesures démontrent la capacité de ce type de dispositif, tant dans l'échange entre scientifiques et population locale, que dans la production de résultats scientifiques pertinents pour l'évaluation de la qualité de l'air dans un territoire soumis à de multiples influences polluantes. Ici, le projet de sciences citoyennes VOCE a généré des bénéfices certains en

Tableau 3. Contrôle et comparaison des données d'échantillonnages entre les volontaires et les scientifiques de l'IECP (moyennes sur N =6 échantillons par station).

Comparison of sampling results recorded by volunteers and IECP scientists (mean values of N =6 plants in each station).

	Contrôle	Volontaire	Contrôle	Volontaire	Contrôle	Volontaire	Contrôle	Volontaire	Contrôle	Volontaire
Feuilles nécrosées	10,16	±0,16	1,17	±0,32	3,83	±0,33	0,83	±0	1,5	±0,17
Bourgeons	8,66	±0	8,16	±0	6,16	±0,33	7,66	±0	7	±0
Fleurs fraîches	8,16	±0	14,47	±0	9,83	±0,33	7,16	±0	9,5	±0
Fleurs fannées	2	±0	1,67	±0	6,33	±0,33	6,67	±0,16	12,7	±0
Fleurs nécrosées	0,66	±0,17	0	±0	1,66	±0,17	0,33	±0	0,2	±0
Taille (cm)	14,33	±0,3	16,82	±0,12	18,05	±0,13	20,46	±0,1	17,31	±0,11
Diamètre des fleurs(mm)	7,54	±0,13	7,39	±0,05	6,51	±0,06	7,97	±0,08	7,53	±0,07

termes de connaissance. De nouveaux savoirs ont été produits par un réseau de volontaires en demande constante de participation à la production d'éléments utiles pour mieux connaître et comprendre son lieu de vie. D'autres organismes que les lichens et les pétunias pourraient être mobilisés dans le futur, selon les besoins et l'intérêt croissant des citoyens pour la participation à des projets de sciences citoyennes. Le personnel scientifique de l'IECP est dans la quête continue de nouveaux projets susceptibles de donner à la fois accès à des données inédites mais aussi satisfaction aux citoyens participants. Dans ce sens-là, deux études distinctes ont été amorcées pour réaliser un suivi de la nappe phréatique du territoire ainsi qu'un suivi volontaire des eaux du golfe de Fos-sur-Mer, ouvrant de nouvelles perspectives sur l'étude du territoire par la société civile.

Références bibliographiques

Agnan Y, 2013 : Bioaccumulation et bioindication par les lichens de la pollution atmosphérique actuelle et passée en métaux et en azote en France : sources, mécanismes et facteurs d'influence, thèse, université de Toulouse, 304 p.

Agnan Y, Séjakon-Delmas N, Probst A, 2013 : Comparing early twentieth century and present-day atmospheric pollution in SW France : A story of lichens. *Environmental Pollution*, 172, 139-148.

Austruy A, Dron J, Charbonnier E *et al.,* 2016 : Teneures naturelles et apports anthropiques en éléments traces dans les sols à l'ouest de l'étang de Berre. *Étude et gestion des sols*, 23, 125-141.

Bargagli R, Iosco FP, Damato ML *et al.*, 1987 : Zonation of trace-m accumulation in 3 species of epiphitic lichens belonging to the genus Parmelia. *Cryptogamie Bryologie Lichenologie*, 8, 331-337.

Boudjellaba D, Dron J, Revenko G *et al.*, 2016 : Chlorination by-product concentration levels in seawater and fish of an industrialised bay (Gulf of Fos, France) exposed to multiple chlorinated effluents, *Science of The Total Environment*, 541, 391-399.

Callon M, Lascoumes P, Barthe Y, 2001 : Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique. Paris, La découverte.

Castell JF, 2009 : Biosurveillance de la qualité de l'air, AgroParisTech/INRA. [En ligne] : http://biosurveillance-air.info.

Clauzade G, Roux C, 1987 : Généralités sur les lichens et leur détermination. *Bulletin de la société botanique du Centre-Ouest*, Nouvelle série, 18.

Dauphin CE, 2016 : Bioindication par *Petunia hybrida* de la qualité de l'air autour de la zone industrielle de Fos-sur-Mer/ Étang de Berre. Rapport d'étude Institut écocitoyen pour la connaissance des pollutions, 67 p. [En ligne] : http://www.institut-ecocitoyen.fr/publication/petunia/AIR%20-%202016%20-%20PETUNIAS%20[rapport%20%C3%A9tude-Dauphin].pdf.

Dron J, Chamaret P, Marchand N *et al.*, 2017: Variabilité physico-chimique des épisodes de pollution atmosphérique à proximité de la zone industrial-portuaire de Fos-sur-Mer. *Pollution atmosphérique*, 233. https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.6081

Goix G, Dron J, Raucau A *et al.*, 2017: Lancement de l'étude de biosurveillance des populations exposées aux émissions atmosphériques à proximité de la zone industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer (INDEX) », *Pollution atmosphérique*, 233. https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.5214

Gramaglia C, Dauphin CE, 2017: Toucher la pollution industrielle du doigt grâce aux lichens, *Techniques & Culture*, 68, « Mondes infimes », p. 130-133.

Irwin A, 1995: Citizen science: A study of people, expertise and sustainable development. Psychology Press.

Kinchy A, Parks S, Jalbert K, 2015: Fractured knowledge: Mapping the gaps in public and private water monitoring efforts in areas affected by shale gas development. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 34(5), 879-899.

LeBlanc SC, Sloover JD, 1970 : Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal, *Canadian Journal of Botany*, 48, 1485-1496.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2015 : Base de données des Installations Classées. [En ligne] : http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/recherchesICForm.php.

Nimis PL, Scheidegger C, Wolseley PA, 2002 : Monitoring with lichens - Monitoring lichens. NATO Science Series, Kluwer Academic Plublishers.

Ottinger G, 2009: Buckets of resistance: Standards and the effectiveness of citizen science. *Science, technology & human values*, 35(2), 244-270.

Ottinger G, 2010: Epistemic fencelines: air monitoring instruments and expert-resident boundaries. *Spontaneous Generations: A Journal for the History and Philosophy of Science*, 3(1), 55-67.

Pleijel H, Ahlfors A, Skarby *et al.,* 1994 : Effects of air pollutant emissions from a rural motorway on Petunia and Trifolium. *The Science of the Total Environment*, 146/147, 117-123.

Posthumus AC, 1983 : Higher plants as indicators and accumulators of gaseous air pollution. Environmental Monitoring and Assessment, 3, 263-272.

Ratier A, Dron J, Revenko G *et al.,* 2018 : Characterization of atmospheric emission sources in lichen from metal and organic contaminant patterns. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.

Sylvestre A, Mizzi A, Mathiot S *et al.*, 2017 : Comprehensive chemical characterization of industrial PM2.5 from steel industry activities, *Atmospheric Environment*, 152, 180-190.

Tonneijcka AE, Bergeb WF, Jansenc BP, 2003 : Monitoring the effects of atmospheric ethylene near polyethylene manufacturing plants with two sensitive plant species. *Environmental Pollution*, 123, 275-279.

Underwood BA, Tieman DM, Shibuya K *et al.,* 2005 : Ethylene-regulated floral volatile synthesis in petunia corollas. *Plant Physiology*, 138, 255-266.

Villarino GH, Bombarely A, Giovannoni JJ *et al.,* 2014 : Transcriptomic Analysis in response to Salt Stress Using High Throughput RNA Sequencing. Cornell University.