

Quand les capteurs citoyens font autorité

L'institutionnalisation des mesures citoyennes de la qualité de l'air en Californie¹

Working paper

Sylvain Parasie & François Dedieu

INTRODUCTION

Depuis une trentaine d'années, les sciences sociales ont documenté les difficultés auxquelles font face les mobilisations citoyennes lorsqu'elles veulent rendre visible des préjudices environnementaux ou sanitaires. Les initiatives relevant de la « science citoyenne » ou de l'« épidémiologie populaire », qui impliquent que des profanes effectuent eux-mêmes des mesures et conduisent leurs propres enquêtes, font ainsi face à un déficit de reconnaissance. Les recherches de sciences sociales ont montré en effet de quelle façon ces mobilisations entrent en tension avec la science telle qu'elle est produite par les scientifiques et reconnue par les autorités (Brown, 1992 ; Irwin, 1995). Si certaines mobilisations ont réussi à orienter la production des connaissances scientifiques, à l'image de la lutte pour l'accès aux traitements contre le Sida (Epstein, 1995), la plupart d'entre elles ont rencontré de profondes difficultés pour peser sur l'action publique. Notamment parce que ces mobilisations ne partagent pas les standards de mesure établies par les institutions scientifiques et réglementaires, et sont de ce fait exclues de la production des mesures officielles (Hess, 2016 ; Frickel et al., 2010).

Plus récemment, l'essor des capteurs numériques s'est accompagné d'une promesse largement relayée, selon laquelle les mesures citoyennes seraient investies d'une plus grande autorité dans la mise au jour des atteintes à l'environnement (Catlin-Groves, 2012 ; Mah, 2016 ; Gabrys, 2016). Plusieurs raisons sont mises en avant, qui tiennent aux caractéristiques de ces dispositifs sociotechniques. En premier lieu, ces capteurs seraient accessibles au plus grand nombre, à la fois en raison de leur faible coût et parce qu'ils n'exigeraient pas de compétences expertes. Un grand nombre d'individus seraient donc en situation de mesurer eux-mêmes les troubles affectant l'environnement (pollution de l'air ou de l'eau, pollution sonore, etc.), indépendamment des autorités officielles (Gabrys, 2016). En deuxième lieu, ces dispositifs de mesure ont pour particularité d'étendre dans l'espace et le temps la mise en équivalence de la qualité de l'environnement. Les capteurs fournissent en effet des mesures au niveau d'une rue

¹ Cette enquête a été réalisée dans le cadre de l'ANR INNOX (« Innovation dans l'expertise. La modélisation et la simulation comme mode d'action publique ») coordonnée par David Demortain.

ou d'un quartier, c'est-à-dire à une échelle qui échappait jusqu'alors aux institutions de surveillance. Ils produisent en outre des mesures en temps réel, qui sont immédiatement accessibles sans qu'il soit nécessaire d'en passer par des centres de calcul extérieurs. En troisième lieu, ces capteurs s'intègrent dans des infrastructures numériques (serveurs informatiques, applications consultables sur téléphones mobiles ou sites web, notamment) qui rendent possible un grand nombre de calculs ou de mises en forme de ces mesures citoyennes.

La crédibilité des mesures produites par ces « capteurs citoyens » est pourtant loin d'aller de soi. C'est particulièrement vrai dans le domaine de la qualité de l'air, où prolifèrent depuis quelques années des capteurs numériques accessibles pour quelques centaines d'euros. Ces dispositifs produisent des mesures selon des procédés qui n'ont rien à voir avec ceux sur lesquels s'appuient les stations officielles – ces dernières mobilisant non seulement des équipements plus lourds et plus coûteux, mais aussi un ensemble de procédés métrologiques garantis par le droit et par des professionnels. Les « capteurs citoyens » sont en outre produits dans des conditions obscures, souvent à l'autre bout du monde, et ils répondent à un cahier des charges qui est très éloigné des exigences métrologiques propres aux institutions de surveillance. Si bien que dans la plupart des pays occidentaux, les autorités de surveillance de la qualité de l'air ont émis de profondes réserves à l'égard de ces nouveaux dispositifs de mesure.

L'ambition de cet article est de saisir à quelles conditions les autorités reconnaissent et intègrent les capteurs numériques dans les mesures officielles. Cette capacité ne saurait découler du seul déploiement des capteurs, tant la crédibilité de ces mesures citoyennes est aujourd'hui contestée par les autorités scientifiques et réglementaires. D'où la nécessité d'enquêter sur les conditions de félicité proprement sociologiques qui assurent qu'une mesure citoyenne soit prise au sérieux par les autorités – c'est-à-dire qu'elle soit au minimum considérée comme l'indice d'une pollution à un endroit et à un moment donné. Ces conditions dépendent nécessairement de l'infrastructure numérique qui sous-tend la production de ces mesures citoyennes, et qui constitue aujourd'hui un investissement de forme auquel ont accès les mobilisations (cf. Lemieux, 2005). À quelles conditions la prétention de ces mobilisations, qui consiste à mettre en équivalence la qualité de l'air à une échelle spatiale et temporelle jusqu'ici inconnue, est-elle susceptible d'être reconnue par les autorités ?

La littérature sociologique offre des ressources pour envisager ce problème. En premier lieu, la sociologie de la quantification a souligné le caractère fondamentalement relationnel des mesures. Alain Desrosières expliquait que la mise en chiffres de tout phénomène – social ou naturel – implique l'élaboration d'une série de conventions d'équivalence exigeant un ensemble de négociations entre une pluralité d'acteurs (Desrosières, 1993). Considérée de cette façon, la validité d'une mesure ne peut être reconnue que si elle repose sur un ensemble de conventions partagées, notamment par les institutions publiques. Dans bien des domaines différents, des sociologues ont montré que de nouvelles façons de mesurer ne sont reconnues par les autorités que si elles s'inscrivent dans un ensemble d'interactions impliquant des jugements sur ce qui constitue une mesure « précise » et produite de façon « compétente » (Derksen, 2000).

En second lieu, les études qui portent sur la science citoyenne nous apprennent que ces mobilisations sont traversées par une tension entre *critique* et *alignement*. D'un côté, elles montrent que les militants mobilisent ces technologies afin de produire des mesures alternatives à celles qui sont produites par les institutions, dans le but de rendre visibles des atteintes environnementales et sanitaires qui échappent aux contrôles officiels (Brown, 1992 ; Irwin, 1995 ; Frickel et al., 2010). L'intention est donc critique, en ce sens qu'elle vise, sinon toujours

à contester les mesures officielles, au moins à corriger la manière dont les institutions saisissent les dommages environnementaux et sanitaires. Mais d'un autre côté, ces mobilisations sont dans l'obligation de s'aligner sur les standards officiels, afin que leurs mesures puissent être prises au sérieux par les autorités. Or un tel alignement est problématique, à la fois parce que les organisations militantes ne disposent souvent pas des ressources nécessaires au respect des standards officiels (Hess, 2016) et parce qu'elles risquent de s'éloigner des préoccupations citoyennes (Gabrys, Pritchard et al., 2018). L'étude d'Ottinger documente bien cette tension à partir du cas d'une mobilisation d'habitants Afro-Américains de Louisiane, qui installent des « seaux » aspirant l'air ambiant à proximité d'une usine (Ottinger, 2010). D'un côté, les militants parviennent à attirer l'attention des autorités en produisant des mesures à partir d'échantillons qui sont analysés selon les standards officiels ; d'un autre côté, les militants mesurent des pics de pollution – c'est ce qui intéresse les résidents – alors que les autorités considèrent seulement les mesures moyennes comme étant recevables. Il nous faut donc comprendre de quelle façon la tension entre critique et alignement est susceptible d'être réduite au cours du déploiement d'une infrastructure numérique de capteurs citoyens.

Nous avons enquêté sur des associations californiennes, qui présentent la particularité d'avoir déployé des capteurs dont les mesures sont aujourd'hui reconnues par l'*Environmental Protection Agency* (EPA) de Californie. Cet État américain offre un excellent cas d'étude tant il se situe à l'avant-garde à la fois dans le domaine des technologies numériques et en matière de régulation environnementale. Nous avons rencontré et interrogé une dizaine de militants engagés dans trois projets de mesure citoyenne de la qualité de l'air, à West Oakland (grande ville située en face de San Francisco, de l'autre côté du pont de la baie), San Ysidro (quartier au sud de San Diego, situé le long de la frontière mexicaine) et Imperial (ville agricole située à 200 km de San Diego, tout près du Mexique). Nous avons également interrogé les responsables de la surveillance de la qualité de l'air au niveau de l'État de Californie (*California Environment Protection Agency*) et au niveau local. Si nous avons choisi d'étudier ces mobilisations, c'est d'abord parce que chacune d'elles implique le déploiement d'un réseau de capteurs pour lutter contre des pollutions locales, qui proviennent d'un port industriel (West Oakland), d'exploitations agricoles (Imperial), et d'une frontière par laquelle transitent plus de 100 000 véhicules chaque jour (San Ysidro). Mais c'est aussi et surtout parce que confrontées au problème de la précision de leurs mesures, deux de ces mobilisations sont parvenues à faire reconnaître leurs mesures par les autorités californiennes, au point que celles-ci sont aujourd'hui intégrées aux canaux officiels d'information sur la qualité de l'air. Ces mesures s'inscrivent en effet dans des protocoles officiels qui sont co-construits par les associations de citoyens, des universitaires et l'EPA.

Pour identifier à quelles conditions ces mobilisations sont parvenues à produire des mesures reconnues par les autorités de Californie, nous avons privilégié une approche de sociologie pragmatique attentive aux processus. Autrement dit, nous avons identifié de quelle façon les différents acteurs – activistes, résidents, chercheurs et responsables publics – en sont venus à s'intéresser aux capteurs citoyens, à la fois d'un point de vue politique, juridique, cognitif et matériel. Nous avons été particulièrement attentifs à la façon dont ces acteurs ont contribué à l'élaboration d'un ensemble de normes concernant l'infrastructure qui sous-tend la production des mesures citoyennes.

L'argument que nous défendons ici, c'est que le seul déploiement des capteurs citoyens ne renforce en rien la capacité des mobilisations à rendre visible des pollutions et à peser sur leur prise en charge par les institutions. La chance que leurs mesures soient prises au sérieux par les autorités dépend des deux conditions suivantes : (1) que les instances scientifiques et

réglementaires en viennent à considérer les capteurs citoyens comme des dispositifs de connaissance et de gouvernement ; (2) que militants, chercheurs et responsables publics s'engagent dans la mise en place d'un protocole, c'est-à-dire d'un ensemble de règles touchant à l'infrastructure matérielle, destiné à produire des mesures suffisamment « précises » et à réduire les tensions entre les savoirs citoyens et les savoirs scientifiques et réglementaires.

L'article s'organise de la façon suivante. Dans une première partie, nous montrons que si pour les militants que nous avons interrogés, les capteurs de qualité de l'air apparaissent comme des dispositifs bien ajustés à leur critique des autorités, les mesures qu'ils produisent sont d'emblée profondément contestées par les instances scientifiques et réglementaires. Leurs mesures ne peuvent pas être prises au sérieux, si bien que c'est leur capacité à rendre visible la pollution de l'air qui est profondément remise en cause. Dans une deuxième partie, nous identifions l'ensemble des dynamiques à la fois politiques, juridiques et cognitives qui ont conduit les autorités de Californie à considérer les capteurs citoyens comme des instruments de connaissance et de gouvernement. Enfin, dans la troisième partie, nous montrons que l'ensemble des acteurs se sont engagés dans l'élaboration de compromis qui ont été inscrits au cœur de l'infrastructure des capteurs citoyens.

PRODUIRE DES MESURES ALTERNATIVES NE GARANTIT PAS D'ETRE PRIS AU SERIEUX

Pour les mobilisations que nous avons étudiées, les capteurs numériques sont apparus comme des dispositifs particulièrement bien ajustés à leur critique de la façon dont les autorités nationales et californiennes régulent la pollution de l'air. Cela s'inscrit dans une tendance de certaines mobilisations contemporaines, qui investissent dans la production et le traitement de données pour construire leur cause et solliciter l'indignation publique (Parasie, 2013), notamment dans le domaine des pollutions environnementales (Osadtchy, 2016). Mais nous allons voir que d'emblée, l'ambition des mobilisations de produire des mesures alternatives se heurte à des obstacles importants, à la fois juridiques et sociotechniques, si bien que ces mesures ne peuvent pas être prises au sérieux par les autorités.

Comment naît l'intérêt pour des « capteurs citoyens » ?

Au moment de l'enquête en mai 2017, les trois mobilisations avaient déployé ou était en train de déployer un réseau de capteurs qui reposent sur des technologies similaires. Comme on le voit sur la photo ci-dessous prise à San Ysidro (figure 1), un « capteur citoyen » prend la forme d'un boîtier en plastique disposée sur le toit d'un bâtiment (le plus souvent un local associatif, une école ou une habitation privée). Relié au réseau électrique, ce boîtier renferme un ensemble de composants électroniques, dont plusieurs mesurent la concentration de polluants particuliers. La présence d'un modem permet d'envoyer les mesures en flux continu, par l'intermédiaire du réseau cellulaire. Stockées sur des serveurs informatiques, les données sont ensuite recalculées pour alimenter des applications web, sous la forme d'indices de pollution et de cartes interactives (cf. figure 2).

Comment ces trois mobilisations en sont-elles venues à porter un intérêt à ces dispositifs ? Précisons d'abord que chacune d'elles sont ancrées dans des territoires qui sont confrontés à

des pollutions massives, et qui sont selon elles largement sous-estimées : un port industriel en extension (West Oakland) ; des exploitations agricoles (Imperial) ; et un nouveau port d'entrée entre les États-Unis et le Mexique, par lequel transitent plus de 100 000 véhicules chaque jour (San Ysidro). Dans ces trois territoires réside une population défavorisée d'un point de vue socio-économique et qui est majoritairement composée de personnes issues des minorités – Afro-Américaine pour West Oakland, d'origine mexicaine à San Ysidro et Imperial. Pour autant, l'intérêt pour la qualité de l'air et sa mesure n'allait pas de soi pour les trois mobilisations. Et ce d'autant moins que, confrontées à de nombreuses difficultés sociales et économiques, les populations locales n'identifient pas la pollution de l'air comme un problème prioritaire.

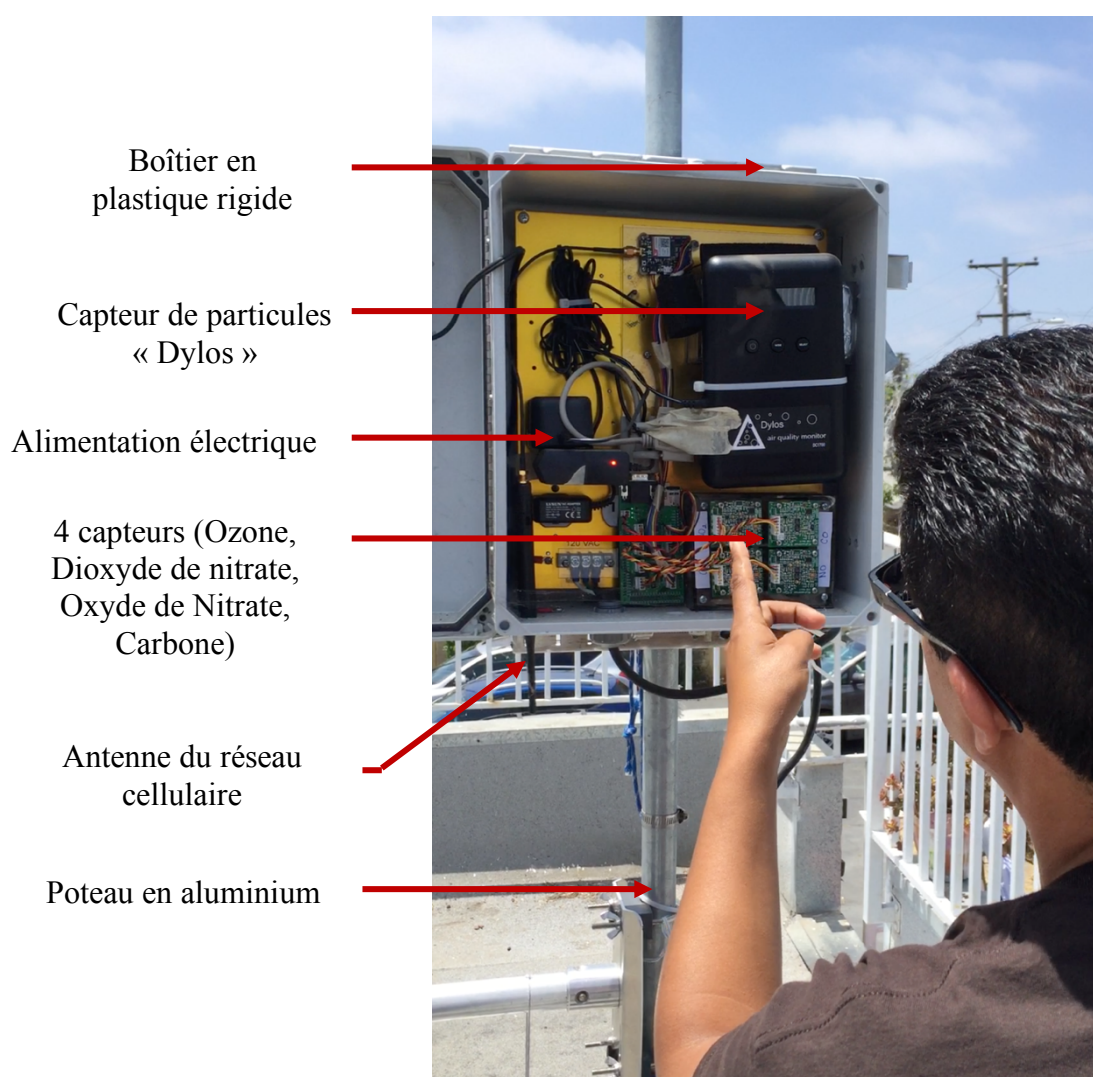


Figure 1 – Un « capteur citoyen » de qualité de l'air à San Ysidro (juin 2017)²

² Photo prise par les auteurs sur le toit des locaux de l'association *Casa Familiar*, à San Ysidro. En compagnie de David Flores, le responsable de l'association.

L'association basée à West Oakland tient ici une place à part, l'intérêt pour les capteurs numériques s'inscrivant de façon naturelle dans la trajectoire de la mobilisation. Fondée en 2002, les activistes du *West Oakland Environmental Indicators Project* luttent contre les atteintes environnementales causées par l'activité portuaire et le transport routier, en privilégiant l'élaboration d'indicateurs et la production de mesures. Au moment de l'enquête, cela fait donc une quinzaine d'années que ces activistes expérimentent une variété de dispositifs afin de quantifier la pollution de l'air subie par les résidents (comptage manuel du trafic de camions ; utilisation d'un aethalomètre³ pour mesurer la pollution intérieure ; mesure de la pollution au moyen de sacs à dos équipés de capteurs).

Au contraire, les associations *Casa Familiar* (San Ysidro) et *Comite Civico del Valle* (Imperial) ne se sont pas constituées sur la question environnementale. Respectivement fondées en 1973 et en 1987, les deux associations luttent pour la promotion de l'identité culturelle des résidents d'origine mexicaine, qu'ils aident à accéder à la citoyenneté américaine, à la nourriture, au logement et à la santé. Au cours des années 2000, les deux associations commencent à s'intéresser à l'environnement à partir d'une préoccupation pour la santé des habitants. C'est ainsi qu'en 2003, les responsables du *Comite Civico del Valle* s'inquiètent de la prévalence des asthmes parmi les résidents d'Imperial, collaborent avec des épidémiologistes, et comment à s'intéresser aux causes de la pollution de l'air. À San Ysidro, c'est le projet du nouveau port d'entrée qui conduit les responsables de *Casa Familiar* à se mobiliser contre la mauvaise qualité de l'air. Au moment de l'enquête, les deux mobilisations ont mis en place un réseau de capteurs (40 à Imperial, 10 à San Ysidro) qui produisent des mesures en temps réel, consultables sur des sites web dédiés (figure 2).

Une critique des mesures officielles

Pour ces activistes, les capteurs numériques offrent l'opportunité de produire des mesures alternatives à celles qui proviennent des autorités officielles. Ils partagent une même critique du système de surveillance de la qualité de l'air qui a été mis en place à partir des années 1960. En Californie, la régulation officielle s'organise en trois niveaux différents. Au niveau fédéral, le *Clean Air Act* définit des seuils limites pour plusieurs substances pour l'ensemble des États-Unis et impose la mise en place de stations de mesure répondant à des standards précis. Par l'intermédiaire de la *California Environmental Protection Agency* (Cal EPA), l'État de Californie établit en outre ses propres standards de qualité de l'air, qui sont supérieurs aux exigences nationales, et prend en charge le maintien des stations officielles. Il existe enfin un troisième niveau de régulation, à l'échelle des 37 districts locaux de Californie, qui possèdent leurs propres stations de surveillance et ont la charge de contrôler les industries et d'attribuer des permis à polluer. Au total, ce sont près de 250 stations officielles qui sont réparties à travers la Californie (soit une tous les 2 km² environ).

Les activistes se rejoignent pour affirmer que les autorités officielles sont incapables de saisir les niveaux de pollution de l'air auxquels les habitants sont réellement confrontés. Leur critique porte ici sur le principe même de la régulation officielle, qui ne vise pas à saisir des endroits où la pollution est la plus forte, mais à vérifier que la pollution moyenne dans une région ne dépasse pas les seuils fixés par la loi. Les activistes jugent plus important d'identifier les endroits où la pollution est forte :

³ Instrument électronique qui mesure la concentration de particules en suspension dans l'air ambiant. En projetant de la lumière sur un filtre sur lequel se sont déposées des particules, il compte les points noirs qui absorbent cette lumière.

Les agences de surveillance définissent des standards pour réguler la qualité de l'air. Cela signifie qu'ils s'appuient sur un réseau étendu de stations de surveillance, qui sont disposées tous les deux kilomètres, afin de déterminer quelle est la qualité de l'air dans la région. Nous avons toujours pensé que mesurer et surveiller l'air de cette façon n'apporte rien aux gens qui vivent à côté d'une centrale électrique, d'un port ou d'une autoroute, parce que ces endroits sont les sources de pollution. (Les régulateurs devraient) surveiller les sources (de pollution) et contrôler le nettoyage de la source du problème. [Brian Beveridge, West Oakland]

Dans le même ordre d'idées, le responsable de *Casa Familiar* à San Ysidro affirme que les mesures officielles de la qualité de l'air sont irréalistes, parce qu'elles reposent sur un petit nombre de stations à partir desquelles on infère des niveaux moyens de pollution sur l'ensemble du territoire. Si bien, nous explique-t-il, que le site officiel de l'EPA de Californie en vient à diffuser des mesures fantaisistes :

[*Montrant la carte de la qualité de l'air produite par l'Agence californienne de protection de l'environnement*] Vous voyez que le comté de San Diego apparaît en vert. Et le comté d'Imperial, qui est juste à côté, apparaît en orange. Mais c'est absurde, non ? Il n'y a aucune frontière naturelle entre les deux comtés. L'espace est ouvert. Donc, la ligne verticale correspond à la frontière entre les deux comtés. Comment peut-on passer de l'orange au vert ? C'est impossible ! [David Flores, San Ysidro]

Les activistes d'Imperial ajoutent une autre critique à l'encontre du district, qui est également en charge de la mesure et de la surveillance de la qualité de l'air. Ils le soupçonnent de manipuler les mesures, et lui reprochent de défendre systématiquement les grands propriétaires terriens du comté, en prétendant que les niveaux importants de pollution ne s'expliquent pas par l'activité agricole locale, mais par les activités polluantes qui se trouvent de l'autre côté de la frontière mexicaine⁴. En installant des capteurs citoyens, il s'agit donc de lutter contre les conflits d'intérêts qui caractérisent à leurs yeux l'action des pouvoirs publics locaux.

Le déploiement d'un réseau de capteurs sert donc ici un projet critique, au sens où il vise à contredire, ou à corriger, les défaillances du contrôle officiel. En rendant visible la qualité de l'air à l'échelle d'une rue ou d'un quartier, les militants veulent contraindre les autorités à agir, et à réguler plus strictement les sources de pollution locales :

Si quelqu'un pouvait dire « c'est parce que vous vivez à cet endroit que vous souffrez d'un cancer du poumon », alors vous pourrez attaquer en justice le fabricant de carburant, l'entreprise de camionnage ou le service d'urbanisme qui a refusé de faire quoi que ce soit au sujet du trafic. La ville a le pouvoir de modifier l'exposition, elle peut changer le zonage, elle peut dire : « Vous ne pouvez plus construire ces choses à côté des logements ». [Brian Beveridge, West Oakland]

Les activistes voient donc dans le déploiement d'un réseau de capteurs le moyen d'obliger les autorités à agir, et simultanément de donner à la population locale la capacité de mieux se protéger de la pollution. Ils font le choix de capteurs fixes plutôt que mobiles, pour faciliter la mise en équivalence de la qualité de l'air à différents points du territoire et de l'ensemble de la Californie.

⁴ Le district d'Imperial reconnaît que les mesures de la qualité de l'air ne correspondent pas aux seuils fixés par la loi, mais demande à en être exempté au motif que la pollution locale serait importée du Mexique.

Des mesures citoyennes, mais peu crédibles

La crédibilité des mesures est un objectif majeur de ces mobilisations, qui veulent être prises au sérieux par les autorités. Celles-ci reprennent d'ailleurs l'indice de l'EPA, le « *Air Quality Index* », qui agrège les différentes mesures de polluants et distingue plusieurs niveaux d'alerte. À Imperial, l'indice est ainsi renommé « *Community Air-Quality Index* », mais il s'appuie directement sur le standard fédéral (figure 2).

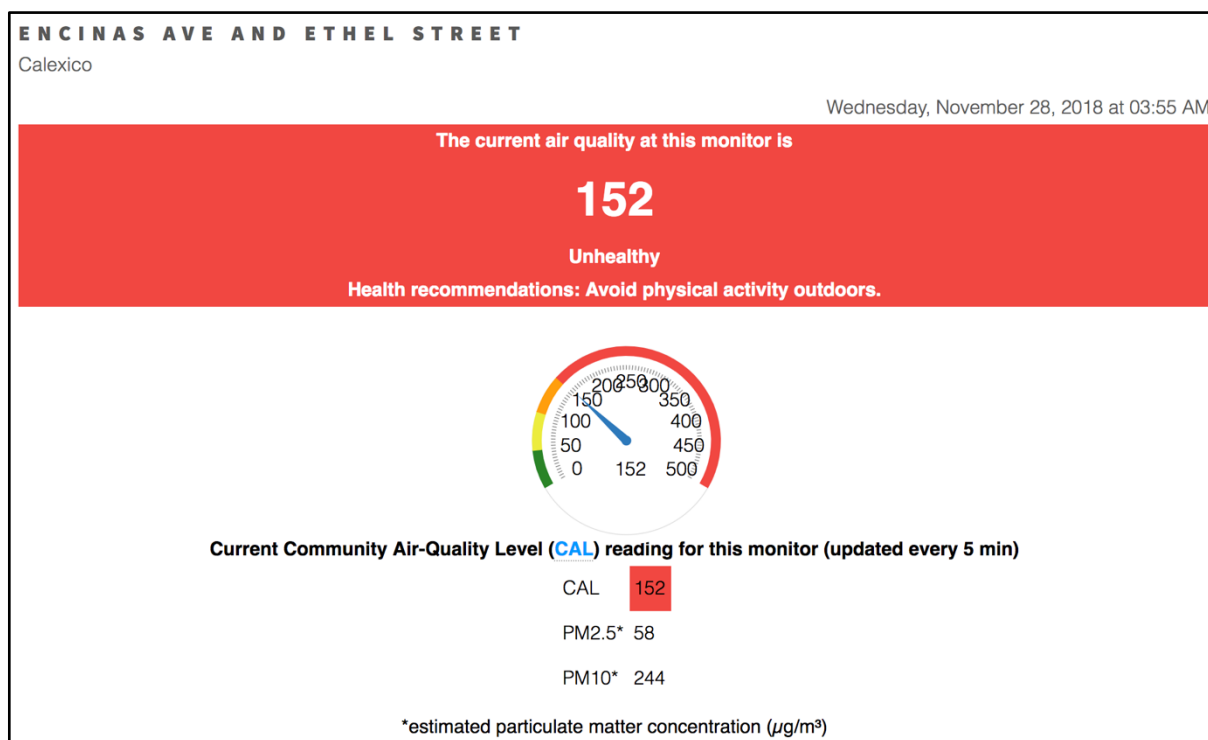


Figure 2 – La qualité de l'air mesurée au croisement de l'avenue Encinas et de la rue Ethel, à Calexico (comté d'Imperial), le 28/11/2018 à 3h55 du matin⁵

La crédibilité de ces mesures citoyennes est pourtant profondément contestée. D'abord parce que les capteurs qui les produisent n'ont aucune valeur réglementaire. Ils ne figurent pas sur la liste des instruments qui sont reconnus par l'EPA comme produisant des mesures certifiées de la qualité de l'air. Autrement dit, les mesures des capteurs citoyens ne peuvent servir à identifier des infractions à la législation, et donc conduire à l'intervention des pouvoirs publics :

Ils ne figurent pas sur la liste approuvée des instruments que l'EPA reconnaît pour effectuer la surveillance officielle de l'air. C'est aussi simple que cela. (...) Si les gens veulent comprendre à quels endroits la pollution est plus forte, ils n'ont pas besoin d'instruments réglementaires pour le faire. [Edmund Seto, chercheur en sciences de l'environnement, Université de Washington]

Plus fondamentalement, ces capteurs suscitent un grand scepticisme de la part des autorités californiennes et des chercheurs en sciences de l'environnement. Ils sont produits dans des

⁵ Mesure accessible à l'adresse : <https://ivan-imperial.org/air/28>.

conditions opaques, souvent à l'autre bout du monde, par des industriels qui ne sont pas toujours familiers de la mesure de la pollution. Comme l'explique ce responsable du contrôle de l'instance chargée du contrôle de l'air au sein de l'EPA de Californie, les capteurs qui sont aujourd'hui commercialisés ne sont contraints par aucun standard :

Aujourd'hui, il est très facile de commander quelque chose sur Amazon ou eBay, de le récupérer et de le brancher. Pour quelques centaines de dollars, vous avez accès à un site web, les données sont chargées sur un portail web, que vous pouvez consulter et dire : « Oh, regarde, la pollution est vraiment mauvaise dans mon quartier ». Mais l'instrument peut ne pas être bon, il peut avoir été construit par quelqu'un qui n'a aucune expérience. Il n'existe aucun critère de certification. N'importe qui peut développer un instrument et le commercialiser. [Benjamin Michael, division chief monitoring au California Air Resources Board]

Les préoccupations portent plus précisément sur la façon dont les mesures des capteurs citoyens peuvent être mis en équivalence avec les mesures officielles. Alors que ces dernières mesurent les particules en masse (en microgrammes par m³), les capteurs comptent seulement des particules. D'autres doutes concernent la stabilité des mesures dans le temps, et leur sensibilité à la température ambiante, à l'humidité ainsi qu'à la présence d'autres polluants :

Au cours de la journée, le capteur va peu à peu se réchauffer et se refroidir dans la soirée. Donc si le capteur est sensible à la température, vous aurez des artefacts dans les données. (...) Parfois c'est la température, parfois c'est l'humidité, parfois encore ce sont les autres polluants. [Edmund Seto, chercheur en sciences de l'environnement, Université de Washington]

L'ambition de produire des mesures alternatives à celles des autorités officielles se heurte donc à des obstacles à la fois juridiques et sociotechniques. Rien n'indique donc que les mesures produites par ces mobilisations ne soient prises au sérieux par les pouvoirs publics et les scientifiques. Le seul déploiement des capteurs numériques ne saurait donc à lui seul renforcer la capacité de ces mobilisations à peser sur la prise en charge publique des pollutions subies par les habitants. Et pourtant, les associations d'Imperial et de San Ysidro sont parvenues à faire reconnaître le sérieux de leurs mesures, lesquelles sont aujourd'hui intégrées au portail officiel d'information sur la qualité de l'air en Californie. Nous allons voir que cela s'explique, d'une part, par le fait que les mondes réglementaires et scientifiques de Californie ont investi les capteurs citoyens comme des instruments de connaissance et de gouvernement (partie 2) ; et d'autre part par un processus collectif d'ajustement des mesures produites par les capteurs (partie 3).

DES CAPTEURS INVESTIS COMME INSTRUMENTS DE CONNAISSANCE ET DE GOUVERNEMENT

Jusqu'au début des années 2010, les autorités américaines en charge de la surveillance de la qualité de l'air manifestent une grande réserve à l'encontre des mesures citoyennes. Un fossé sépare les mesures citoyennes, d'une part, considérées comme fragiles et illégitimes, des mesures réglementaires d'autre part. En Californie, ce fossé s'est pourtant considérablement

réduit dans les dernières années, sous l'effet de dynamiques à la fois politiques, juridiques et scientifiques. Les mondes réglementaires et scientifiques en sont ainsi venus à considérer les capteurs numériques comme des instruments de connaissance et de gouvernement.

Le capteur citoyen, un levier de la « justice environnementale »

Depuis le début des années 2000, la montée en force du principe de « justice environnementale » a conduit l'EPA de Californie à porter un nouveau regard sur les mesures de la qualité de l'air produites au moyen des capteurs citoyens. Inscrit dans les lois californiennes, ce principe contraint les autorités à se préoccuper en priorité des préjudices environnementaux subis par les populations défavorisées d'un point de vue socio-économique (Bullard, 2005). En 2012, le *California Senate Bill 535* enjoint les agences environnementales de l'État à consentir à des efforts financiers plus importants pour réduire les expositions des communautés vulnérables face à la pollution. En 2016, le *California Assembly Bill 1550* fait un pas supplémentaire, en fixant les contraintes budgétaires et les investissements à consentir pour réduire les gaz à effets de serre. Désormais l'EPA de Californie doit consacrer 25 % de ses budgets à l'aide aux communautés défavorisées. Ce nouvel environnement juridique contraint donc l'agence à se préoccuper davantage de la qualité de l'air respiré par les populations défavorisées, et donc à collecter des données à un niveau suffisamment local pour saisir les pollutions auxquelles elles sont confrontées. C'est ici que les capteurs citoyens présentent un intérêt pour les instances officielles de Californie, puisqu'ils permettent de produire des mesures de la qualité de l'air à l'échelle de ces populations, et ce à un coût beaucoup plus faible que celui qu'implique la construction d'une nouvelle station officielle⁶ :

Jusqu'à tout récemment, nous n'avons pas vraiment été en mesure de nous pencher sur cette question à long terme parce que l'utilisation et l'entretien des moniteurs de qualité réglementaire existants coûtent très cher. Mais avec l'apparition de capteurs et d'ordinateurs à faible coût et de l'Internet, il y a cette convergence de la technologie et de l'intérêt des habitants qui a vraiment donné l'occasion, je crois, de changer vraiment notre façon de faire la surveillance de la qualité de l'air. [Benjamin Michael, division chief monitoring au *California Air Resources Board*]

L'attention à la « justice environnementale » modifie profondément le principe même de la surveillance réglementaire. Dès lors qu'il s'agit de porter une attention particulière à l'air qui est respiré par certains habitants, il n'est plus possible de s'en tenir à la mesure des niveaux moyens de pollution qui affectent une région donnée sur la longue période. L'EPA de Californie se voit donc contrainte de répondre à la demande sociale en faveur d'une information locale sur la qualité de l'air :

Le public regarde l'information actuellement disponible et dit que ce n'est pas suffisant. Or le réseau de surveillance de la qualité de l'air que la Californie a développé et entretenu au cours des 50 dernières années est conçu pour déterminer si nous respectons nos engagements et nos objectifs régionaux en matière de qualité de l'air établis par la loi fédérale *Clean Air Act*. Et même si l'information sur ces 250 sites peut être utile pour déterminer l'exposition des gens qui habitent autour de ce site, lorsqu'on regarde toute la Californie et que l'on regarde la distribution de ces stations réglementaires, cela ne

⁶ Le coût d'une station officielle est estimé à plusieurs centaines de milliers de dollars, tandis que le prix d'un capteur se situe à plusieurs centaines de dollars.

fournit pas beaucoup d'information au niveau du quartier... [Benjamin Michael, division chief monitoring au *California Air Resources Board*]

C'est dans ce contexte que certains membres de l'EPA de Californie (au sein de l'*Air Ressource Board*) ont défendu avec succès l'idée que les capteurs citoyens permettent de compléter le réseau officiel de surveillance, en rendant visible la qualité de l'air respiré par les populations les plus vulnérables.⁷

La mise en œuvre de l'impératif de « justice environnementale » participe aussi à changer le regard des autorités officielles sur les capteurs citoyens d'une autre manière. Ces dispositifs apparaissent en effet à l'EPA de Californie comme un moyen de contraindre plus efficacement les districts locaux à réguler plus fortement les activités industrielles qui dégradent la qualité de l'air. La surveillance réglementaire de la qualité de l'air s'organise, nous l'avons dit, à trois niveaux différents – le niveau fédéral, celui de l'État de Californie, et celui des districts locaux. Or, l'EPA de Californie s'oppose régulièrement aux districts locaux, qu'elle accuse de ne pas respecter la réglementation. Lorsque l'EPA de Californie constate que les seuils imposés par la réglementation sont dépassés dans un territoire, elle peut déclencher un plan (*State Implementation Plan*), qui impose au comté concerné une série de mesures coercitives qui permettent de faire baisser le niveau de pollution (baisse trafic routier, pose de filtre à charbon etc.). Mais pour pouvoir imposer ces mesures, l'EPA doit apporter la preuve que le district ne met pas en œuvre les moyens nécessaires pour réduire la pollution. Une partie de ses responsables attendent donc des capteurs citoyens qu'ils contribuent à rendre visible l'inaction des autorités locales, en fournissant des mesures granulaires et en temps réel de la pollution.

Le litige qui oppose le Comté d'Imperial à l'EPA de Californie illustre parfaitement cette situation. Depuis quelques années, l'EPA constate des dépassements réguliers des niveaux de pollution dans ce comté, et accuse le district d'accorder trop facilement des permis à polluer aux exploitations agricoles locales. En 2012, l'EPA de Californie veut imposer un ensemble de mesures coercitives dans le but de réduire la pollution dans le comté d'Impérial. Mais le district parvient à suspendre la mise en œuvre de ces sanctions, arguant que les pics de pollution sont liées aux activités économiques qui se trouvent de l'autre côté de la frontière mexicaine. L'EPA de Californie espère donc obtenir des mesures suffisamment granulaires pour démontrer qu'une grande partie de la pollution est d'origine locale, et ainsi contraindre les autorités locales.

La montée en force de la justice environnementale, un principe juridique et politique particulièrement important en Californie, associé à l'opportunité politique d'obtenir des mesures plus précises permettant de contraindre les autorités locales à respecter la réglementation, expliquent donc en partie l'intérêt des instances officielles de protection de l'environnement pour les capteurs citoyens de mesure de la qualité de l'air. Et ce alors même que ces mêmes autorités demeurent très sceptiques à l'égard des mesures produites par ces capteurs⁸.

Un outil au service de l'expologie

⁷ Pour l'EPA de Californie, on peut supposer que les capteurs citoyens apparaissent aussi comme un moyen d'apaiser les critiques qui lui sont adressées, et donc de maintenir sa réputation. Sur l'importance pour les agences de maintenir leur réputation, cf. Carpenter (2014).

⁸ Ces professionnels vivent alors une tension bien décrite par Alain Desrosières. En public, ils défendent le réalisme de leurs mesures, tout en reconnaissant en coulisse que ces mêmes mesures dépendent de conventions (Desrosières, 2008).

Parallèlement à la montée en force de la justice environnementale, une seconde dynamique a contribué à faire apparaître les capteurs citoyens comme des instruments de connaissance et de gouvernement. Il s'agit de l'expologie (*exposure science*), un domaine scientifique qui connaît un essor important depuis les années 1990, et qui vise à objectiver les conditions réelles dans lesquelles les individus sont exposés aux polluants. Science pratique et réglementaire, l'expologie s'est constituée comme le chaînon manquant entre les sciences de l'environnement – qui analysent la diffusion des polluants dans les milieux physiques (air, eau, sols) – et l'épidémiologie – qui étudie les effets des polluants sur de grandes populations et sur la longue durée (Lioy et Weisel, 2014). Les promoteurs de l'expologie ont mis l'accent sur le fait que les autorités américaines de protection de l'environnement se bornaient à mesurer des volumes de polluants en fonction de leur localisation, et ainsi à calculer des moyennes de concentration sur l'ensemble du territoire. À leurs yeux, une véritable protection des populations exige de pouvoir mesurer l'intensité et la durée du contact avec des agents toxiques présents dans l'environnement. Une régulation efficace implique selon eux non pas de mesurer des concentrations moyennes, mais des pics de pollution.

Cet agenda a conduit les chercheurs en expologie à s'intéresser de près aux diverses technologies permettant de produire des mesures touchant à l'intensité et à la variabilité locale de la pollution – biomarqueurs⁹, GPS, technologies de télédétection, notamment. C'est ainsi que les capteurs numériques, qui peuvent être déployés sous la forme d'un réseau, ont fait l'objet d'une grande attention de la part des chercheurs en expologie. À leurs yeux, ces dispositifs de mesure offrent l'opportunité de corriger les limites considérables du réseau officiel de surveillance de la qualité de l'air.

C'est le propos que tient Edmund Seto, chercheur à l'Université de Washington, qui est intervenu auprès des associations d'Imperial et de San Ysidro pour la mise en œuvre du réseau de capteurs citoyens. Après une formation d'ingénieur en informatique, il s'est orienté dans les sciences de la santé et de l'environnement, se spécialisant dans la modélisation de l'exposition et la recherche sur les capteurs. Selon lui, ces dispositifs permettent de corriger les failles du contrôle réglementaire :

Il n'y a pas assez de stations officielles dans les localités pour comprendre les variations locales des niveaux de pollution atmosphérique. Le capteur de pollution de l'air le plus proche ne se trouve souvent pas dans votre voisinage, mais à des kilomètres et des kilomètres de chez vous. Par conséquent, si vous vous préoccupez des effets de la pollution atmosphérique sur votre santé, le système de surveillance qui se trouve dans la ville voisine ne sera pas très pertinent. Mon argument, c'est qu'on peut renforcer ou de compléter le réseau de surveillance gouvernemental existant grâce à ces autres instruments qui sont moins coûteux et qui peuvent combler une partie de ces trous dans l'espace. [Edmund Seto, Université de Washington]

Cet argument est non seulement partagé par un grand nombre de chercheurs en expologie, mais il apparaît aussi au fondement de cette science réglementaire, qui est étroitement liée à l'EPA des États-Unis et de Californie. Cette dynamique scientifique permet donc de mieux comprendre pourquoi des chercheurs en viennent à s'intéresser aux capteurs citoyens malgré les doutes qu'ils continuent d'avoir sur la précision des mesures citoyennes.

⁹ Un biomarqueur est un changement observable ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire ou physiologique, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à un polluant.

Un partenariat autour des capteurs citoyens

C'est dans ce contexte que des chercheurs et des instances officielles nouent un partenariat avec les activistes d'Imperial et de San Ysidro autour des capteurs. Tout commence en 2013, quand Paul English, épidémiologiste au *California Department of Public Health* et spécialiste de science participative, dépose un projet de recherche avec Luis Olmedo, qui est à la tête du *Comite Civico del Valle* à Imperial. Les deux hommes se connaissent depuis près de dix ans, et ont déjà collaboré dans le cadre d'une recherche sur l'asthme des jeunes enfants de la région. Ils obtiennent une bourse du *National Institute of Environmental Health Science* – destinée à financer des projets de recherche en partenariat avec des communautés défavorisées – pour mettre en place un réseau de capteurs. Afin de produire des données robustes, ils font appel à l'équipe dirigée par Edmund Seto, de l'Université de Washington, spécialisé dans la recherche sur les capteurs de qualité de l'air.

Dans les années suivantes, des responsables de l'EPA de Californie prêtent attention au projet d'Imperial. En 2015, ils décident de financer un projet similaire en collaboration avec les activistes de San Ysidro, qui implique également l'équipe de l'Université de Washington. En 2017, ils mandatent l'*Office of Environmental Health Assessment* (OEHHA) pour élaborer une carte interactive indiquant en temps réel la pollution de l'air respiré par les populations vulnérables de Californie. Cette carte agrège les données de qualité de l'air produites par les stations officielles et les mesures citoyennes produites à Imperial et San Ysidro¹⁰.

À la suite de dynamiques à la fois juridiques, politiques et cognitives, les mondes réglementaires et scientifiques considèrent donc progressivement les capteurs citoyens comme des instruments de connaissance et de gouvernement. Activistes, chercheurs et officiels s'accordent donc sur l'opportunité de déployer des capteurs pour mettre en équivalence la qualité de l'air dans un grand nombre d'endroits de l'État – particulièrement ceux qui sont confrontés aux plus fortes injustices environnementales. Mais s'il est partagé, cet intérêt reste théorique. L'ensemble des acteurs partagent alors un intérêt pour la recherche de précision qui semble leur offrir cette technologie. Les chercheurs et les officiels tiennent un discours ambigu sur l'utilité de ces capteurs citoyens : s'ils y voient l'opportunité de gagner en précision, ils émettent des doutes sur la robustesse des données produites par cette technologie. La mise en équivalence de ces données avec les mesures officielles de la qualité de l'air leur apparaît encore problématique.

Nous allons maintenant voir à présent que ces différents acteurs produisent cette précision, en élaborant un ensemble de compromis touchant à l'infrastructure des capteurs citoyens. Les compromis qu'ils parviennent à trouver permettent de réduire la tension entre les savoirs citoyens et les savoirs scientifiques et réglementaires.

Comment produire des mesures suffisamment « précises » ?

Pour des raisons différentes, un ensemble d'acteurs ont investi les capteurs citoyens comme des instruments de connaissance et de gouvernement. Mais tous ces acteurs ne sont pas restés à distance du dispositif, se contentant d'en parler de loin et de façon abstraite. Tout au contraire,

¹⁰ Cette carte s'appelle « CalEnviroScreen », et elle est accessible à cette adresse : <https://oehha.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=4560cfbce7c745c299b2d0cbb07044f5>.

leur intérêt s'est porté sur sa matérialité et la production de mesures suffisamment « précises » : l'emplacement des capteurs, la température ou l'humidité à laquelle ils sont exposés, la qualité des composants et leur éventuelle dégradation au fil du temps, l'attention portée par les habitants aux boîtiers installés sur leur toit, etc. Tous ces aspects ont été examinés, sous-pesés, interrogés et débattus au cours d'un processus au terme duquel les mesures produites par les capteurs citoyens ont été ajustées à un ensemble de normes acceptables par les autorités, les scientifiques et les habitants. C'est ainsi que l'infrastructure des capteurs citoyens a intégré un ensemble de compromis permettant de réduire la tension entre les savoirs citoyens et les savoirs réglementaires et scientifiques. Ces compromis ont été élaborés autour de trois opérations distinctes.

Politique de la calibration

La première opération est celle que les acteurs désignent comme la « calibration ». Mobilisant des chercheurs en sciences environnementales, elle vise à augmenter la robustesse des données produites par les capteurs citoyens. Mais comme le suggèrent Hélène Pritchard et ses collègues (2018), le travail de calibration a d'abord pour objectif de convaincre les instances officielles de la robustesse des mesures citoyennes. C'est d'ailleurs ce qu'explique Edmund Seto, professeur à l'Université de Washington, qui a piloté la calibration des capteurs déployés à Imperial et San Ysidro :

Si vous considérez la politique comme un moyen de parler à vos électeurs, vous savez que nos électeurs dans ce cas-ci sont les organismes gouvernementaux et nous essayons donc de les convaincre que nous recueillons des données précieuses. [Edmund Seto, Université de Washington]

Dans le cas des deux mobilisations du sud de la Californie, le travail de calibration s'est d'abord fait à l'Université de Washington. Pour Seto et son équipe, il s'agissait d'évaluer de quelle façon la précision des mesures est affectée par la variation des conditions de température et d'humidité. Lors d'expériences en laboratoire, ils étudient comment le même volume d'une substance polluante spécifique donne lieu à des mesures différentes par un même capteur en fonction de la température et de l'humidité. Ils en tirent des modèles statistiques, destinés à corriger les données produites par les capteurs citoyens en fonction des conditions auxquelles ils seront exposés. Mais ce premier travail, pourtant coûteux en ressources humaines et matérielles, s'est révélé insuffisant pour Seto et ses collègues. Satisfaisant au plan théorique, il ne pouvait à lui seul convaincre les autorités de la robustesse des mesures citoyennes. C'est pourquoi les chercheurs décident de sortir du laboratoire, et d'étalonner les capteurs sur le terrain, en les plaçant au même endroit que les stations officielles :

Le laboratoire n'est jamais le monde réel. En fin de compte, lorsque nous avons conçu nos projets à Imperial et à San Diego, nous avons dit « eh bien, nous devons faire la calibration sur le terrain ». Et cela prend du temps. Nous devons placer (les capteurs) à côté des stations du gouvernement, de sorte que nous les étalonnons en fonction des données du gouvernement, pendant plusieurs mois d'affilée. De cette façon, nous pourrions montrer aux gens, en particulier aux organismes gouvernementaux, à quel point les capteurs fonctionnent bien. Pas seulement pendant un mois d'hiver, mais aussi pendant tout l'hiver, le printemps, l'été, etc. [Edmund Seto, Université de Washington]

C'est ici que la calibration prend un tour « politique ». Le fait d'étalonner les capteurs citoyens vis-à-vis des stations du gouvernement doit permettre de convaincre les autorités officielles de la robustesse des mesures. Les modèles de régression statistique qui ont ainsi été élaborés ont permis de corriger l'ensemble des mesures produites par les capteurs citoyens une fois installés de façon pérenne. Au niveau de l'État de Californie, les autorités ont accueilli favorablement ces demandes de colocation, et ont été convaincu par la démarche. Seuls les responsables du district d'Imperial ont refusé d'héberger les capteurs citoyens du *Comite Civico del Valle*, mais la Cal EPA est intervenu pour que des districts voisins accueillent les capteurs.

Trouver un toit pour chaque capteur

Dès lors qu'une pluralité d'acteurs partagent un même intérêt pour les capteurs citoyens, le choix de l'endroit où ils vont être installés ne va pas de soi. Il est en effet au cœur d'une tension entre les habitants et les épidémiologistes. D'un côté, les responsables de *Casa Familiar* et du *Comite Civico del Valle* désirent impliquer les habitants dans la localisation des capteurs : ceux-ci sont non seulement les seuls à savoir où résident les populations les plus vulnérables, et de quelle façon ils se déplacent dans la ville, mais ils savent aussi quel voisin acceptera d'héberger un capteur sur son toit ou dans son jardin. Dans un contexte où la majorité de la population ne considère pas la pollution de l'air comme un problème majeur, il est impératif à leurs yeux d'impliquer les résidents dans le choix des endroits où seront installés les capteurs. Mais d'un autre côté, les épidémiologistes ont aussi leur mot à dire sur l'emplacement des capteurs. Ils possèdent même une expertise élaborée, appuyée sur des modélisations statistiques, pour définir les emplacements optimaux compte tenu des particularités de l'environnement. La famille de modèles la plus utilisée est appelée « *land use regression* » (cf. Hoek et al., 2008). À partir de mesures réalisées dans quelques dizaines d'endroits, ces modèles prédisent les niveaux de pollution attendus dans l'ensemble de la région, à partir de plusieurs variables (altitude, utilisation des sols, climat, densité de la population, etc.). C'est ce type de modèle qu'ont utilisé Seto et ses collègues :

Ce que fait le modèle *land use regression*, c'est qu'il estime à quoi ressemblerait la pollution de l'air à un endroit précis à partir d'autres endroits qui se trouvent dans des circonstances similaires et où nous avons des capteurs. Et c'est ce qu'il essaie de faire, c'est d'aider les gens là où il n'y a pas encore de capteur. C'est ce à quoi on peut s'attendre. [Edmund Seto, Université de Washington]

Dans les cas d'Imperial et de San Ysidro, l'équipe dirigée par Paul English et basée à San Francisco a joué un rôle majeur pour élaborer un compromis entre l'expertise des habitants et celle des épidémiologistes de l'Université de Washington. Composée de spécialistes de l'intervention auprès des populations en matière de santé, cette équipe élabore un protocole qui réduit la tension entre des expertises concurrentes. Dans les deux villes, ils sont d'abord intervenus devant un « comité de résidents », dont les membres sont choisis par les responsables des mobilisations, pour leur expliquer les sources et mécanismes de la pollution. Puis ils ont demandé à ce comité de déterminer 20 endroits dans la ville qui sont soit les plus pollués, soit ceux où vivent des populations vulnérables :

Il n'y avait pas de critères précis, mais on leur a plutôt demandé : « avez-vous l'impression qu'il y a beaucoup d'écoliers ou de personnes âgées, ou qu'ils sont vulnérables parce qu'il y a une source de pollution vraiment désagréable, ou qu'ils

brûlent toujours des champs là-bas ? » [Paul English, Public Health Institute, San Francisco]

C'est alors qu'ils ont sollicité Edmund Seto et ses collègues épidémiologistes pour déterminer 20 autres endroits à partir de l'état des connaissances sur la pollution dans la région, et de modélisations statistiques :

Et nous avons dit : « Vous savez, nous n'avons aucun capteur ici, à l'est et à l'ouest de la vallée ». Et comme nous supposions que beaucoup de polluants venaient de la frontière, nous voulions aussi installer plus de capteurs à la frontière. Et puis, il y a eu d'autres analyses statistiques du type « *land use regression* ». Il y a eu une analyse en composantes principales pour que nous soyons certains que nous tenions compte des différents types d'utilisation des sols. Nous avons un système d'information géographique, la surface de la couverture terrestre, et donc nous connaissions toutes les différentes utilisations des sols dans la vallée, et nous voulions nous assurer qu'elles étaient toutes représentées dans le modèle. Et c'est à partir de toutes ces informations que Graham a trouvé quelques sites candidats pour placer vingt autres capteurs. [Paul English, Public Health Institute, San Francisco]

Enfin, Paul English et ses collègues ont à nouveau sollicité le comité de résidents afin qu'ils identifient et tentent de convaincre des habitants d'héberger les capteurs sur leur propriété et d'en prendre soin. À cette dernière étape, les locations peuvent à nouveau changer selon que les habitants acceptent d'héberger les capteurs, ou qu'il est nécessaire de leur trouver un autre toit plus accueillant. Ce protocole, initialement conçu pour Imperial (cf. English et al., 2017) et qui a ensuite été répliqué à San Ysidro, a permis de réduire les tensions entre l'expertise des habitants et celle des épidémiologistes.

Maintenir l'infrastructure au jour le jour

La troisième opération est moins circonscrite dans le temps que les deux premières. Il s'agit, pour l'ensemble des acteurs impliqués, de s'assurer que la qualité des mesures citoyennes se maintienne à un niveau satisfaisant au fil des mois et des années. Le courant des *Infrastructures studies*, initié par Susan Leigh Star (Star et Ruhleder, 1996) et prolongé par plusieurs auteurs contemporains (Denis et Pontille, 2015), a mis l'accent sur l'importance du travail, souvent invisible, qui est indispensable au fonctionnement d'une infrastructure. Dans le cas qui nous occupe, le souci de produire des mesures robustes implique de porter une attention constante à une infrastructure qu'on connaît mal et qui est susceptible de connaître des défaillances. D'où la nécessité d'engager des ressources humaines et matérielles importantes au maintien de l'infrastructure.

Au moment de l'enquête, les capteurs citoyens sont en place depuis 10 mois à Imperial et 4 mois à San Ysidro. Pour Edmund Seto et son équipe de l'Université de Washington, la robustesse des données n'est pas garantie pour les années à venir. Le comportement des capteurs à plus long terme demeure inconnu, si bien que la qualité des mesures citoyennes n'est pas garantie sur le long terme :

Je suis toujours assez inquiet. Je veux dire, ces réseaux sont encore des bébés. Nous avons montré comment ils se comportaient au cours de la première année d'exploitation, mais rien ne garantit que ces choses fonctionneront indéfiniment. De sorte que nous

devons constamment penser à recalibrer, à revalider... et qui entretient ces réseaux ? Donc, si personne ne continue d'examiner la qualité des données, je pense que vous ne pourrez pas faire confiance aux données de ces réseaux. [Edmund Seto, Université de Washington]

Cette inquiétude est partagée par les membres du *Comite Civico del Valle* qui conservent la propriété des capteurs et des données produites. Ils s'assurent que les capteurs disposent des logiciels adéquats pour que les données soient envoyées aux serveurs, et qu'ils soient bien reliés au réseau. Humberto Lugo, qui pilote la surveillance quotidienne à Imperial, et dont le salaire est pris en charge par un financement octroyé par l'EPA, nous explique qu'il est nécessaire de consulter les données tous les jours, afin de repérer d'éventuelles incohérences dans les données. S'il constate qu'un capteur produit des mesures incohérentes – c'est-à-dire des mesures qui ne correspondent pas à ce qu'il attend lui-même compte tenu de l'heure, de la saison et des conditions météorologiques, il le désactive via son téléphone ou son ordinateur, avant de se rendre sur place et de procéder à une inspection. Chaque jour, il effectue des réparations qui sont centrales pour stabiliser la qualité des mesures citoyennes.

Les modalités précises du travail de maintenance ne sont toutefois pas encore définies de façon stricte au moment de l'enquête. Le doute porte sur la division du travail de maintenance entre les activistes locaux et les partenaires universitaires. Les associations d'Imperial et de San Ysidro étant propriétaires des capteurs et des données, la logique voudrait qu'elles prennent en charge à terme l'intégralité du travail de maintenance. C'est à Imperial que cette voie a été le plus poussée, l'équipe d'Edmund Seto ayant formé plusieurs habitants à la surveillance des données et à la maintenance du code informatique :

À Imperial, nous avons eu des séances de formation où nous avons partagé, avec nos partenaires locaux, le code informatique que nous avons élaboré pour nos capteurs et même nos serveurs. Notre objectif, c'est que tout ait été transféré à la fin de cette année. (...) Nous avons (aussi) essayé d'établir un budget avec une sorte d'analyste de données, même si on ne sait pas qui serait cette personne. Elle devrait être en charge de contrôler les données, de repérer quand elles sont incohérentes et d'assurer l'entretien. (...) Il n'y a aucune raison qu'un membre de la communauté locale ne soit pas en mesure de jouer ce rôle. [Edmund Seto, Université de Washington]

Il ne suffit donc pas que les mondes scientifiques et réglementaires considèrent les capteurs citoyens comme des instruments de connaissance et de gouvernement pour que leurs mesures soient subitement jugées dignes de confiance. Les trois cas étudiés soulignent à quel point est crucial le processus collectif au terme duquel les acteurs ajustent les capteurs à un ensemble de conventions partagées. Ce processus, on le voit, est traversé par une tension qui oppose les activistes locaux aux organismes scientifiques et réglementaires, laquelle a été largement soulignée par les recherches sur la science citoyenne (Brown, 1992 ; Irwin, 1995). Les règles qui sont ici explorées par les acteurs visent à réduire cette tension en identifiant un ensemble de compromis.

CONCLUSION

L'essor des technologies numériques pourrait laisser penser que les mobilisations ont désormais l'opportunité de faire reconnaître plus efficacement les préjudices environnementaux qu'elles subissent. Ceci est pourtant loin d'être immédiat, tant la crédibilité des « mesures citoyennes » produites par ces capteurs est contestée par les instances réglementaires et scientifiques. Dans cet article, nous avons étudié à quelles conditions le déploiement d'un réseau de capteurs citoyens produit des mesures qui sont considérées comme suffisamment solide par les autorités. Autrement dit, nous avons identifié, à partir de ces cas, les conditions de félicité associées au recours à des capteurs citoyens pour mettre en équivalence la qualité de l'air en temps réel et à l'échelle d'un quartier. En menant l'enquête en Californie, un État qui est en pointe à la fois dans le domaine du numérique et de la protection de l'environnement, nous avons identifié deux conditions majeures. Il faut d'abord qu'une partie des mondes scientifiques et réglementaires envisagent les capteurs citoyens comme des instruments de connaissance et de gouvernement – ce qui dépend de dynamiques à la fois politiques, juridiques et cognitives. Il faut ensuite que les activistes, chercheurs et régulateurs s'accordent à la fois pour produire des mesures suffisamment précises et pour réduire la tension entre les savoirs citoyens et les savoirs scientifiques et réglementaires.

Le mouvement que nous retraçons dans cet article prend la forme d'une institutionnalisation, au sens où l'infrastructure des capteurs citoyens s'aligne en partie sur les standards réglementaires. Au fil du temps, les responsables associatifs nous ont d'ailleurs expliqué avoir peu à peu changé leur regard sur les mesures qu'ils produisaient : alors qu'au départ, ils les considéraient comme remettant profondément en cause les mesures officielles, ils en sont venus à considérer que les mesures citoyennes venaient compléter les mesures officielles de la qualité de l'air. Au moment où se terminait notre enquête, il était trop tôt pour déterminer avec certitude dans quelle mesure cette institutionnalisation s'était faite au détriment des revendications citoyennes. Nous avons vu que les associations locales étaient, du fait de l'alliance avec l'EPA de Californie, en situation d'inverser l'asymétrie dans laquelle elles se trouvaient à l'égard des autorités locales. Mais rien ne garantit que l'équilibre délicat entre critique et alignement se stabilisera dans les années à venir.

Pour finir, l'étude de la situation californienne permet de porter un regard comparatif sur la situation française, où se multiplient depuis quelques temps le recours aux capteurs citoyens. Le droit français ne faisant aucune place au principe de la justice environnementale, il est assez probable que la reconnaissance des mesures citoyennes soit rendue plus difficile qu'en Californie. Il est assez peu probable que les chercheurs et les responsables publics entreprennent, avec les résidents, d'inscrire dans les infrastructures techniques un ensemble de normes de précision gouvernées par le souci de réduire la tension entre les savoirs citoyens et les savoirs officiels.

REFERENCES

- Barthe, Y. (2010). « Cause politique et "politique des causes". La mobilisation des vétérans des essais nucléaires français », *Politix*, 3(91), 77-102.
- Brown, P. (1992). « Popular epidemiology and toxic waste contamination : lay and professional ways of knowing », *Journal of Health and Social Behavior*, 33(3), 267-281.

- Bullard, R. (dir.) (2005). *The quest for environmental justice : human rights and the politics of pollution*, San Francisco, Sierra Club Books.
- Carpenter, D. (2014). *Reputation and power : organizational image and pharmaceutical regulation at the FDA*, Princeton University Press.
- Catlin-Groves, C. L. (2012). « The citizen science landscape : from volunteers to citizen sensors and beyond », *International Journal of Zoology*.
- Denis, J., Pontille, D. (2015), « Material ordering and the care of things », *Science, Technology & Human Values*, 40(3), 338-367.
- Derksen, L. (2000). « Towards a sociology of measurement : The meaning of measurement error in the case of DNA profiling », *Social Studies of Science*, 30,(6), 803-845.
- Desrosières, A. (1993), *La politique des grands nombres. Histoire de la raison statistique*, Paris, La découverte.
- Desrosières, A. (2007), « Les qualités des quantités. Comment gérer la tension entre réalisme et conventionnalisme ? », in Lemieux, C. et de Fornel, M. Lemieux, C., *Naturalisme versus constructivisme*, Paris, Éditions de l'Ehess, 271-292.
- English, P. B., Olmedo, L., Bejarano, E. et al. (2017), « The Imperial County Community Air Monitoring Network : a model for community-based environmental monitoring for public health action », *Environmental health perspectives*, 125(7).
- Epstein, S. (1995). « The Construction of Lay Expertise : AIDS Activism and the Forging of Credibility in the Reform of Clinical Trials », *Science, Technology, & Human Values*, 20(4), 408-437.
- Frickel, S., Gibbon, S., Howard, J., Kempner, J., Ottinger, G., Hess, D. J. (2010). « Undone science : charting social movement and civil society challenges to research agenda setting », *Science, Technology, & Human Values*, 35(4), 444-473.
- Gabrys, J. (2016). *Program earth : Environmental sensing technology and the making of a computational planet*, University of Minnesota Press.
- Gabrys, J., Pritchard, H. (2018). « Just Good Enough Data and Environmental Sensing : Moving Beyond Regulatory Benchmarks toward Citizen Action », *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 13.
- Hess, D. J. (2016). *Undone science : Social movements, mobilized publics, and industrial transitions*, MIT Press.
- Hoek, G., Beelen, R., De Hoogh, K., Vienneau, D., Gulliver, J., Fischer, P., et Briggs, D. (2008). « A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution », *Atmospheric environment*, 42(33), 7561-7578.
- Irwin, A. (1995). *Citizen Science : A study of people, expertise, and sustainable development*, London, Routledge.
- Latour, B., Hermant, E. (1996). « Ces réseaux que la raison ignore : laboratoires, bibliothèques, collections », in *Le Pouvoir des Bibliothèques. Le pouvoir des livres en Occident*, 23-46.
- Lemieux, C. (2008). « Rendre visibles les dangers du nucléaire. Une contribution à la sociologie de la mobilisation », in *La cognition au prisme des sciences sociales*, 131-159.
- Lioy, P., Weisel, C. (2014). *Exposure Science : Basic Principles and Applications*, Londres, Academic Press.

- Mah, A. (2017). « Environmental justice in the age of big data : challenging toxic blind spots of voice, speed, and expertise », *Environmental Sociology*, 3(2), 122-133.
- Osadtchy, C. (2016), « Mesurer la pollution : de la prévention des risques environnementaux à la territorialisation par l'action publique environnementale », *Terrains & travaux*, 28, 63-83.
- Ottinger, G. (2010). « Buckets of resistance : Standards and the effectiveness of citizen science », *Science, Technology, & Human Values*, 35(2), 244-270.
- Parasie, S. (2013), « Des machines à scandale. Éléments pour une sociologie morale des bases de données », *Réseaux*, 2(178-179), 127-161.
- Pritchard, H., Gabrys, J. et Houston, L. (2018). « Re-calibrating DIY : Testing digital participation across dust sensors, fry pans and environmental pollution », *New media & society*.
- Star, S. L., Ruhleder, K. (1996), « Steps toward an ecology of infrastructure : Design and access for large information spaces », *Information Systems Research*, 7(1), 111-134.