



HAL
open science

Peut-on prendre la mesure du risque silice ?

Catherine Cavalin, Paul-Andre Rosental, Michel Vincent

► **To cite this version:**

Catherine Cavalin, Paul-Andre Rosental, Michel Vincent. Peut-on prendre la mesure du risque silice ?. Colloque Sondages 2012, Nov 2012, Rennes, France. pp.1 - 21. hal-01311973

HAL Id: hal-01311973

<https://hal-sciencespo.archives-ouvertes.fr/hal-01311973>

Submitted on 4 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PEUT-ON PRENDRE LA MESURE DU RISQUE SILICE ?
ENQUETES SANTE, ENQUETES TRAVAIL ET OUTILS DE VEILLE SANITAIRE

Cavalin Catherine^{1,2} & Rosental Paul-André^{1,3} & Vincent Michel^{1,4}

¹ *Centre d'études européennes de Sciences Po – 27, rue saint-Guillaume – 75 337 PARIS
CEDEX 07*

² *Centre d'études de l'emploi – 29, promenade Michel Simon – 93 166 NOISY-LE-GRAND
CEDEX*

³ *Institut national d'études démographiques (INED) – 133, Boulevard Davout – 75 020 PARIS*

⁴ *Centre hospitalier Saint Joseph Saint Luc – 20, quai Claude Bernard – 69 007 LYON*

catherine.cavalin@sciences-po.fr

rosental@sciences-po.fr

mvincent@ch-stjoseph-stluc-lyon.fr

Résumé. La communication présente les champs de recherche, les sources, les méthodes et quelques premiers résultats du projet SILICOSIS piloté par Paul-André Rosental au Centre d'études européennes de Sciences Po, soutenu et financé par le Conseil européen de la recherche (*European Research Council*, ERC) pour la période 2012-2017. SILICOSIS est un projet de recherche qui fait collaborer étroitement l'histoire, la médecine, la statistique, la sociologie et l'épidémiologie.

La silicose, pathologie causée par l'inhalation de silice cristalline, est la maladie professionnelle la plus mortelle de l'histoire (Rosental, 2008, 2013 ; Rosental, Devinck, 2007 ; Carnevale *et al.*, 2012). Elle continue de causer des dégâts sanitaires considérables en lien avec les activités industrielles dans les pays développés mais aussi, de manière croissante, dans les pays émergents. Les travaux historiques montrent à quel point la silicose doit sa définition médicale même à des négociations impliquant, à partir des années 1930 et sous l'égide du Bureau international du Travail (BIT), des États, des syndicats d'employeurs et de salariés, des institutions chargées de la protection sociale. Ces travaux permettent de mieux comprendre les fondements du sous-repérage et de la sous-déclaration massifs de cette pathologie, en particulier du fait de confusions diagnostiques avec des maladies non reconnues comme d'origine professionnelle ou industrielle.

La communication privilégie un aspect justifiant le caractère interdisciplinaire du projet : il s'agit d'interroger les classifications médicales contemporaines pour réévaluer la prévalence de la silicose aujourd'hui, en explorant des pistes de recherche qui mettent également au jour des mécanismes liés à l'exposition à la silice cristalline – et pas seulement par voie d'inhalation –, pour un ensemble de pathologies inflammatoires systémiques (Koeger *et al.*, 1995) dont l'étiologie est inconnue et l'épidémiologie hétérogène. Ces pathologies (sarcoïdose (Vincent, Lièvre, 2002), lupus érythémateux disséminé (Parks *et al.*, 2002), sclérodermie (Haustein, Ziegler, 1985), polyarthrite rhumatoïde par exemple), tout en étant rares si l'on retient le critère d'une prévalence inférieure à 1/2000, touchent plusieurs dizaines de milliers de personnes en France et sont, pour partie d'entre elles (polyarthrite rhumatoïde, lupus, sclérodermie), inscrites à la liste des affections de longue durée (ALD) exonérantes.

À la question : « quelle est la prévalence, d'origine professionnelle ou non, de l'exposition à la silice cristalline, et quelle est la prévalence des pathologies – silicose mais pas seulement – qui en résultent ? », aucune source ne fournit le matériau d'une réponse exhaustive ou représentative de la population générale. C'est notamment ce manque que soulignent les travaux épidémiologiques et à visée de surveillance sanitaire qui débouchent sur la construction de « matrices emplois-expositions » centrées sur les expositions professionnelles à l'inhalation de silice cristalline (Delabre *et al.*, 2010 ; Groupe de travail Matgéné, 2010 ; Luce *et al.*, 2007 ; Luce *et al.*, 2006).

L'équipe du projet SILICOSIS se propose de rassembler et de confronter des sources qui, imparfaites ou partiellement aveugles sur la question à traiter, diverses par la nature des données qu'elles fournissent et les méthodes d'analyse qu'elles mettent en œuvre, peuvent collaborer de façon dynamique : enquête statistique et historique sur archives ; travail qualitatif par entretiens et montage d'une enquête statistique en ligne auprès de médecins pour évaluer les pratiques diagnostiques et de prise en charge ; recherches médicales menées dans le laboratoire de minéralopathologie de l'hôpital saint-Joseph-saint Luc de Lyon ; enquêtes statistiques « santé » et « travail » françaises mesurant les liens entre santé et travail sous des angles qui s'ignorent souvent mutuellement (Cavalin & Célérier, 2012a) ; données administratives de santé. Celles-ci (données du Système national d'information inter-régimes de l'assurance maladie – SNIIRAM – ou du Programme de médicalisation des systèmes d'information – PMSI) permettent, au moins à des fins de cadrage et dans un domaine où les prévalences sont faibles, de tester des hypothèses sur des échantillons exhaustifs.

Texte

1. Repenser le risque silice. Le projet SILICOSIS

1.1 Attendus du projet

Les effets sanitaires de la silice sont d'ordinaire mesurés par la prévalence d'une maladie bien définie qui est la silicose, fréquente autrefois dans le secteur minier mais qui touche aussi de nombreux autres secteurs professionnels, des fonderies au BTP (Delabre *et al.*, 2010). Cette manière de voir est héritée d'une histoire longue, qui remonte aux années 1930 et qui a été prolongée par les instruments de détection disponibles, radiologie puis scanner. Or, toute une série d'observations cliniques et d'enquêtes épidémiologiques avivent, depuis une quinzaine d'années, une interrogation bien plus large sur l'effet pathogène d'une exposition, même temporaire, même non professionnelle, et par des voies pas nécessairement aériennes, aux poussières alvéolaires de silice cristalline et, plus largement, aux poussières inorganiques. Ces observations éparses laissent entrevoir un lien entre l'exposition à ces poussières et le déclenchement d'un ensemble de maladies inflammatoires systémiques (et pas nécessairement ou pas seulement pulmonaires) telles que le lupus érythémateux disséminé (Parks *et al.*, 2002 ; Parks & Cooper, 2005), la sclérodermie (Haustein & Ziegler, 1985 ; Haustein & Anderegg, 1998), la polyarthrite rhumatoïde (Koeger *et al.*, 1995) ou encore la sarcoïdose (Vincent & Lièvre, 2002 ; Newman & Newman, 2012).

Peu familières du grand public et rares si l'on retient le critère d'une prévalence inférieure à 1/2000, ces maladies touchent plusieurs dizaines de milliers de personnes en France et sont, pour partie d'entre elles (polyarthrite rhumatoïde, lupus, sclérodermie), inscrites à la liste des affections de longue durée (ALD) exonérantes¹. La sarcoïdose, pour sa part, est la première maladie chronique pulmonaire après l'asthme chez les populations d'âge adulte. C'est surtout leur étiologie qui est mal connue – et très controversée.

L'ambition du projet *ERC Advanced Grant SILICOSIS* est d'apporter une contribution épidémiologique marquante à ces débats en combinant l'histoire (qui a été essentielle dans la solidification de catégories médicales aujourd'hui remises en cause), la médecine (qui rouvre désormais un dossier qui avait relativement peu évolué depuis 80 ans), et la sociologie, essentielle à la fois pour comprendre la perception du risque silice par les praticiens médicaux, et pour tenter de l'objectiver dans les enquêtes travail et les enquêtes santé disponibles à ce jour en France. C'est la raison pour laquelle SILICOSIS est coordonnée par une équipe interdisciplinaire regroupant, au Centre d'Études Européennes (CEE) de Sciences Po, les auteurs de cet article à savoir un historien (Paul-André Rosental), une sociologue quantitative de la santé (Catherine Cavalin) et un médecin chef de service hospitalier en pneumologie, également directeur de l'un des deux laboratoires français de minéralopathologie, Michel Vincent. Cette équipe s'appuie également sur un collectif de professeurs de médecine et chercheurs associant les diverses spécialités médicales nécessaires : médecine du travail, cancérologie, radiologie, pneumologie, biologie.

¹ La prévalence de la polyarthrite rhumatoïde est ainsi de 0,3% (Guillemin *et al.*, 2005), soit un taux de 312 pour 100 000 parmi les assurés du régime général et un effectif de 180 447 personnes, selon les données de la CNAMTS au 31/12/2010 ; les personnes inscrites en ALD pour un lupus systémique se comptent au nombre de 21 707 et 24 313 en 2008 et 2009 (soit des prévalences de 38 et 41/100 000 respectivement) (Arnaud *et al.*, 2011).

1.2 Le poids de l'histoire sur le regard médical

Dégradation pulmonaire provoquée par l'inhalation de poussières contenant une proportion substantielle de silice cristalline, incurable, souvent fatale, connue comme « la » maladie des mineurs, la silicose est devenue un exemple canonique du caractère négocié des maladies professionnelles. Sa reconnaissance médico-légale a en effet réuni, à partir de la fin des années 1920 et sous l'impulsion du Bureau International du Travail (BIT), des États, des syndicats de salariés et d'employeurs et des organismes de protection sociale (Rosental & Devinck, 2007 ; Rosental, 2009). De l'avis même de nombreux médecins, les choix effectués à l'époque, pour partie dans une logique de négociation économique, pour partie à cause de la focalisation exclusive sur les risques professionnels qui étaient alors les plus visibles (en termes médicaux mais aussi en termes de contraintes de gestion du personnel) éclairent directement les contradictions contemporaines du savoir médical en matière d'exposition au risque « poussières ».

En effet, le laborieux compromis qui s'est conclu dans l'entre-deux-guerres a abouti à occulter, hors de l'activité minière et de quelques autres secteurs industriels, le risque pour la santé que constituent les innombrables formes et contextes d'exposition à un environnement riche en silice, pour privilégier exclusivement :

- les effets de l'inhalation de poussière de silice, en négligeant le passage de la silice par la voie cutané-muqueuse (Vincent *et al.*, 2004) ;

- l'exposition prolongée durant tout le cycle de vie, en omettant les formes d'emploi qui impliquaient des expositions intenses mais temporaires (Rosental 2013) ;

- l'exposition professionnelle au risque, en laissant de côté les expositions domestiques ou environnementales plus largement (Norboo *et al.*, 1991 ; Vincent & Lièvre, 2002 ; Vincent & Chemarin, 2011 ; Grobelaar *et al.*, 1991) ;

- les conséquences directes de l'exposition, ramenées à la silicose, alors qu'est mis en cause depuis les années 1980 le caractère potentiellement carcinogène de cette maladie, voire plus généralement de l'exposition à la poussière de silice. Ce risque fait l'objet d'un vif débat médical, incarné d'un côté par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) qui ne cesse, depuis vingt-cinq ans, de réévaluer son importance² au fil de l'accumulation des résultats expérimentaux ou épidémiologiques disponibles³, et de l'autre par l'Union européenne qui jusqu'ici résiste à cet avis. Depuis le classement par le CIRC de la silice cristalline (quartz et cristobalite) parmi les cancérigènes du groupe 1 en 1997, expertises et contre-expertises sont produites ou discutées dans un climat conflictuel, dans lequel les

² En 1987, le CIRC classe la silice cristalline comme « cancérigène probable ». Depuis 1997, il l'intègre dans le « groupe 1 » des cancérigènes : la carcinogénicité du quartz et de la cristobalite est affirmée comme étant certaine pour l'homme. En 2012 enfin, le dernier de la série des volumes de monographies publiée par le CIRC concernant la silice compile les conclusions de nouveaux travaux : il dresse à la fois un tableau qui confirme le caractère cancérigène du quartz et de la cristobalite et permet de différencier les domaines pour lesquels les certitudes sont plus ou moins assurées, selon la nature des preuves (CIRC, 2012).

³ Parmi les hypothèses permettant de comprendre les mécanismes par lesquels la silice cristalline peut être un agent carcinogène, le rapport publié par le CIRC en 2012 pointe comme la plus plausible celle qui suggère que la silice alvéolaire dégraderait la fonction de nettoyage des poussières exercée en temps normal par les macrophages. Alors, de la silice persisterait dans les alvéoles pulmonaires, ce qui activerait les macrophages et libérerait des cytokines et des chémokines. Chez les rats de laboratoire, une inflammation persistante se manifeste par la présence de neutrophiles qui engendrent des oxydants induisant une génotoxicité et une prolifération de cellules épithéliales débouchant sur le développement d'un cancer du poumon. Rien ne permet toutefois d'affirmer que cette hypothèse, avancée à propos des rats, serait aussi valable pour les humains. Et d'autre part, les mécanismes par lesquels l'injection directe de silice à des rats et des souris débouche sur le développement de lymphomes sont inconnus.

producteurs de silice européens, groupés dans l'association Eurosil, jouent un rôle actif, ainsi que les industriels de quelques secteurs qui utilisent la silice cristalline, comme les industries céramiques (Musu et Sapir, 2006).

1.3 Questions et méthode

Appuyée sur des observations médicales éparses, l'hypothèse centrale du projet SILICOSIS est l'effet déterminant des poussières inorganiques, et notamment de la silice, sur les maladies systémiques énumérées plus haut. Mais cet effet, qui sauf exception n'est appuyé que sur une poignée de cas cliniques, n'est pas directement observable. D'une part, la faible notoriété de ces pathologies provient pour partie du compromis médicolégal scellé dans l'entre-deux-guerres. Depuis la convention internationale du BIT de 1934, les maladies de la silice sont réduites à la silicose et aux pneumoconioses professionnelles, ce qui relègue dans un *vacuum* médical toutes les autres manifestations pathologiques que la silice est susceptible d'engendrer : la faible visibilité de ces pathologies concourt à leur sous-enregistrement statistique, qui en retour réduit leur importance apparente pour la santé publique. D'autre part, la poussière de silice est à ce point répandue dans l'environnement que ses effets sanitaires se diluent dans les observations statistiques directes. Cette réalité ubiquitaire de la silice accentue les difficultés d'interprétation auxquelles se heurtent les études cliniques ou épidémiologiques face aux nombreuses variables de confusion – au premier rang desquelles, en cas de symptômes pulmonaires, la consommation de tabac.

Pour remédier à ces biais, SILICOSIS a entrepris un délicat croisement de nombreuses bases de données proposant à ce jour en France des mesures statistiques dans les domaines de la santé, des conditions de travail et du parcours professionnel, et leur a adjoint des outils préoccupés par des questions de veille sanitaire. L'objectif de cette opération est de proposer une estimation approximative mais sur de grands effectifs des effets de la silice et des poussières inorganiques, en identifiant les personnes qui, par leur *cursus laboris*, sont susceptibles d'avoir pratiqué à un moment au moins une activité soumise à un empoussièrément intense et/ou qui déclarent présenter des pathologies potentiellement concernées par ces expositions. Ce volet statistique de la recherche sera confronté aux résultats d'entretiens approfondis conduits d'une part auprès d'un échantillon représentatif de la population générale (enquête en panel ELIPSS, 1 500 répondants attendus en 2013), et d'autre part auprès de populations ciblées en fonction de leur probabilité *a priori* élevée d'exposition au risque (anciens verriers par exemple), afin de suivre précisément mais sur de petits effectifs les effets d'expositions diverses, professionnelles ou pas, aux poussières inorganiques. Dans le cadre de ce volume consacré aux sondages, c'est aux aspects méthodologiques de la première de ces deux opérations que nous allons consacrer notre attention.

2. Des instruments d'observation présentant tous des mailles trop lâches

Dans ce contexte de discussions toujours renouvelées autour des risques que la silice cristalline occasionne pour la santé humaine, on est incité à se tourner vers les instruments qui permettent pour certains l'observation de l'état de santé de la population, pour d'autres du travail, pour d'autres encore, si possible, des deux à la fois (santé et conditions de travail ou, mieux encore, santé et expositions professionnelles) et, enfin, vers les dispositifs de veille sanitaire susceptibles de repérer et suivre les moments, les lieux ou les secteurs professionnels critiques en matière d'exposition au risque silice pour la population en emploi. La France est dotée depuis plusieurs décennies de tels moyens d'observation ou de surveillance statistique : plus de cinquante ans pour les enquêtes statistiques « santé », une quarantaine d'années pour

les enquêtes « travail », une dizaine d'années surtout pour les outils de veille sanitaire préoccupés des questions épidémiologiques liées à l'activité professionnelle.

Il est indispensable d'étudier de près les possibilités de mise en examen de la question « silice » avec ces outils, tels qu'ils existent déjà. Dans quelle mesure pourraient-ils (ou pas) contribuer à une exploration du risque silice, sans se limiter à la seule silicose, sans restreindre non plus le champ observé aux mines et aux industries extractives ?

Dans toutes les sources que nous allons maintenant passer au crible, les besoins de l'exploration à conduire posent la question du matériau disponible d'une part pour repérer et mesurer la prévalence de pathologies diverses (prévalence chaque fois relativement limitée), d'autre part pour connaître des caractéristiques si possible précises des emplois, des secteurs professionnels et des expositions à des nuisances pour la santé.

2.1 Les enquêtes statistiques sur la santé

Les enquêtes statistiques à mobiliser pour la conduite de recherches exploratoires sur le risque silice doivent satisfaire deux critères importants, l'un quantitatif, l'autre qualitatif. Sur le versant quantitatif, étant donné la faiblesse relative des prévalences des maladies qui nous intéressent, l'échantillon doit être de taille suffisamment importante. Une telle taille (disons, pas moins de 10 000 personnes) peut permettre d'observer, sinon des cas nombreux pour chacune des pathologies considérées, du moins une diversité intéressante de maladies parmi celles que nous souhaiterions observer (par exemple, la sarcoïdose, dont la prévalence en France est d'environ 15 cas pour 100 000 personnes). Une enquête en population générale dont l'échantillon est de grande taille ne peut permettre d'examiner plusieurs dizaines ou centaines de cas individuels concernant l'ensemble des maladies inflammatoires systémiques suspectées de lien avec l'exposition à la silice cristalline. Mais on peut penser que *la répétition des observations sur plusieurs sources* donnera matière à analyse sur au moins quelques dizaines de cas par maladie. Pour l'aspect qualitatif, la remarque quantitative ne vaut qu'à condition que les bases de données utilisées permettent d'*identifier clairement la nature des pathologies*, autrement dit que l'enregistrement qu'elles proposent des maladies chroniques repose sur une classification assez détaillée et lisible (selon des critères de nosologie compatibles avec le repérage des maladies que nous cherchons à cerner).

Le premier critère, quantitatif, nous oriente vers les enquêtes de plus grande taille : Handicap Santé – volet Ménages (HSM, DREES-INSEE, 2008, 30 000 enquêtés de tous âges), Santé et protection sociale (ESPS, IRDES, 2006, 2008, 2010, 20 000 enquêtés de tous âges) ou Événements de vie et santé (EVS, DREES, 2005-2006, 10 000 répondants âgés de 18 à 75 ans), par exemple. Le second critère fait tout de suite apparaître des difficultés dans les travaux d'approche. Le relevé des maladies chroniques dans les enquêtes déclaratives constitue, on le sait, un problème épineux de la collecte des données de santé. La difficulté n'est pas, comme tendrait à le faire croire la sagesse populaire, que les malades imaginaires sont légion, mais au contraire qu'il existe une claire tendance à la sous-déclaration des pathologies par ceux qui en souffrent. La littérature a permis de comprendre que, si cette tendance est vraie « en général » (globalement, les prévalences calculées sur la base des déclarations sont trop faibles, *i.e.* inférieures à ce qu'une enquête par diagnostic ferait par exemple apparaître), elle est néanmoins vérifiée de manière différentielle selon les maladies chroniques (Dauphinot *et al.*, 2006 ; Dauphinot *et al.*, 2008), selon que celles-ci font l'objet d'oublis, de dissimulations délibérées ou d'une ignorance de la part des personnes qui en sont porteuses. Puisque donc il est difficile de faire dire à des répondants de quoi ils « souffrent » – selon le mot qu'utilisaient les premières enquêtes santé en France et qui a aujourd'hui été remplacé par la neutralité du verbe « avoir [une maladie] » –, cette étape est, dans tout

questionnaire d'une enquête santé, un passage délicat, potentiellement consommateur de temps pour l'entretien si l'on tente de remédier à cette sous-estimation de la fréquence des pathologies. Les diverses sources abordent l'exercice avec une certaine diversité de pratiques. Cette diversité dans la manière de questionner sur les maladies chroniques subsiste aujourd'hui, même dans le contexte de la tendance à l'homogénéisation qu'a favorisée largement la diffusion, à partir des années 2000, des trois questions standardisées du mini-module européen de santé. À partir des trois exemples d'EVS, HSM et ESPS, on peut se faire une idée du matériau disponible (ou pas), du caractère adapté (ou pas) des données à une démarche qui cherche à repérer des maladies relativement rares et dont les contours nosologiques, dans une classification du type de la CIM 10 (Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes de l'OMS), seraient clairement établis.

EVS est une enquête qui s'est saisie frontalement de ce problème de la collecte des maladies chroniques. La question du mini-module européen « Actuellement, avez-vous une ou plusieurs maladies chroniques ? » a fait l'objet d'un soin particulier, en étant accompagnée, complétée ou encadrée par un dispositif *ad hoc* de questionnement (voir par exemple Cavalin, 2010 ; Cavalin & Célérier, 2012b). La question elle-même a par exemple été systématiquement associée à une définition de la chronicité (« Une maladie chronique est une maladie qui dure ou durera etc. ») qui, selon les enquêtes, fait soit l'objet de cette explicitation systématique, soit est laissée « en option », au choix de l'enquêteur. Systématiquement aussi, la réponse en a été recueillie après lecture, aidée par l'enquêteur, d'une liste de 58 réponses possibles (57 maladies ou une 58^{ème} modalité pour dire « non, aucune maladie »). La question canonique du mini-module a en outre été suivie d'une relance qui, au lieu de parler de « maladies chroniques », interroge sur « des maladies ou problèmes de santé » et permet à l'enquêté de réexaminer la même liste de réponses possibles, etc. Sachant que par ailleurs, l'enquêteur demande également à l'enquêté de donner « en clair » le libellé du nom de sa maladie. Il ne s'agit nullement de demander aux répondants de se muer en médecins, en techniciens très pointus capables de manier une terminologie médicale qui pour eux est barbare, mais simplement de les laisser dire, tels qu'ils les entendent et les disent eux-mêmes, les noms de leurs maladies. Autant de techniques pour préciser ou relancer, qui expliquent que l'enquête EVS atteint une prévalence globale élevée des maladies chroniques à la date de l'enquête (71% des 18-75 ans déclarent en avoir au moins une⁴). Beaucoup de maladies donc, et avec un échantillon de taille appréciable (10 000 enquêtés)...

Que peut-on donc aller y chercher ? Pour détaillée qu'elle soit et si proche soit-elle de grands chapitres de la CIM 10, la typologie des 57 maladies chroniques proposées par EVS (inspirée de la classification de l'auto-questionnaire déjà éprouvé par plusieurs éditions d'ESPS) n'est pas assez fine pour pouvoir y identifier comme telles des polyarthrites rhumatoïdes ou des lupus érythémateux disséminés... Il faut donc plonger, en complément du premier niveau de tri que permettent ces réponses précodées, dans les libellés en clair des maladies énoncés par les répondants. Travail toujours fastidieux d'apurement et de recodage, dont on peut donner ici un aperçu des possibilités, en zoomant sur le segment *a priori* le mieux ciblé de la population interrogée, à savoir les personnes qui déclarent, après avoir parcouru la liste des 57 maladies, présenter des « maladies ou problèmes pulmonaires »

⁴ Prévalence certes élevée... mais en définitive pas tant que cela si on compare ce résultat à ceux qui sont régulièrement tirés d'ESPS (Cavalin, Célérier, 2012b) dont EVS a emprunté, à peu de rubriques près, la typologie en 57 modalités des maladies chroniques. Et prévalence pas si élevée non plus lorsque l'on observe que 23% des répondants déclarent un problème de vue (myopie, presbytie, etc.), que l'on sait sans gravité ni conséquence notable dans l'immense majorité des cas, et qu'ils n'auraient pas pensé à déclarer si on ne leur avait pas présenté une liste écrite, explicite, de maladies. On a donc ici un effet de l'outil de collecte massif, délibéré, et raisonnablement maîtrisé pour faciliter l'interprétation des prévalences.

recouvrant les rubriques « bronchite chronique », « asthme » et « autres problèmes pulmonaires (à préciser) ». Toutes les maladies visées par notre recherche ne sont ni exclusivement pulmonaires ni ne se manifestent forcément par des signes ou des symptômes pulmonaires. Les atteintes pulmonaires sont toutefois très fréquentes dans plusieurs d'entre elles (sarcoïdose, sclérodermie) ou constantes dans certaines autres (silicose). Examiner en priorité les intitulés par lesquels les enquêtés désignent librement leurs pathologies après avoir signalé qu'au moins une de leurs maladies était pulmonaire paraît par conséquent légitime et efficace. Dans cet ensemble de 1 614 personnes, EVS permet de repérer 39 cas de silicose, polyarthrite rhumatoïde, lupus érythémateux disséminé, sarcoïdose, asthme, BPCO, connectivites mixtes, etc. pour lesquelles la recherche peut se poursuivre. Le même travail sera répété à l'ensemble des libellés en clair des maladies chroniques enregistrés dans l'enquête, avec un volume d'apurement et de recodage lourd, pour retrouver les maladies chroniques présentes et passées. À l'issue de cette collecte d'informations sur un ensemble ciblé de pathologies, *quid* de la mise en relation des données avec des informations sur les sources possibles d'exposition, professionnelles ou environnementales ? On se heurte ici à une lacune, qu'on retrouve dans les deux sources suivantes et qu'on va préciser plus loin.

Du fait de la qualité de leurs données sur les maladies chroniques, deux autres sources sont mobilisables pour notre entreprise : les enquêtes HSM et ESPS⁵. Enquêtes réalisées respectivement par l'INSEE et l'IRDES, elles ont en commun d'avoir bénéficié d'un travail de recodage des pathologies chroniques selon la CIM 10, effectué par l'IRDES, gage encourageant à la fois pour la clarté et la précision des informations qu'on y retrouvera.

Dans HSM, les quatre catégories de la CIM 10 pertinentes pour notre projet sont les « maladies chroniques des voies respiratoires inférieures », les « maladies du poumon dues à des agents externes », les « autres maladies touchant principalement le tissu interstitiel » et les « autres affections de la plèvre ». Les déclarations dont elles font l'objet concernent respectivement 16% (n=4 313), 0,1% (n=57), 0,03% (n=19) et 0,15% des répondants (n=37) ce qui pourrait donner matière (en termes de robustesse statistique) à la poursuite des explorations. Néanmoins, la pêche est en partie décevante, car le filet ramène à la fois une catégorie aux contours trop larges (la première, celle qui touche 4 313 enquêtés) et trois autres groupes de « malades » dont le reste du questionnaire ne permet pas, ou très peu ou très mal, de savoir si les maladies qu'ils rapportent peuvent avoir un lien avec des expositions professionnelles à des poussières (et encore moins un rapport avec des expositions environnementales). On reviendra plus loin sur ce point, comme à propos d'EVS.

Malgré cette aporie – *quid* du travail, des conditions de travail, des expositions à des nuisances dans le travail, voire des expositions à des nuisances environnementales dans d'autres contextes que professionnel ? –, à laquelle on se heurte tout autant en exploitant les données d'ESPS que celles d'EVS ou HSM, l'enquête SPS paraît la mieux équipée pour nous permettre de multiplier les observations sur les cas de maladies de type silicose et inflammatoires systémiques. Avec plus de 20 000 répondants, ESPS possède un potentiel quantitatif plus large qu'EVS et un peu plus faible que HSM. Néanmoins, par rapport à cette dernière, elle bénéficie d'un recodage plus fin des maladies en codes CIM. On peut donc y identifier en tant que telles des sarcoïdoses ou des polyarthrites rhumatoïdes par exemple. Au total, dans ESPS 2006, on peut ainsi compter 143 cas « intéressants » pour SILICOSIS, parmi lesquels notamment : une silicose, une sclérodermie et trois sclérodermies localisées, quatre sarcoïdoses, deux maladies de Gougerot-Sjögren, quatre maladies de Horton, une fibrose ou sclérose pulmonaire, quatre insuffisances respiratoires graves, onze insuffisances respiratoires

⁵ Jusqu'ici, nous en avons utilisé l'édition 2006, mais nous disposons désormais des données 2008 et 2010, sur lesquelles la même démarche sera développée.

chroniques, trente-deux polyarthrites rhumatoïdes et deux polyarthrites juvéniles » et vingt-trois polyarthrites « sans autre indication ».

Dans ces trois sources, on comprend que malgré la qualité de la collecte et éventuellement déjà du travail de recodage effectué pour permettre l'identification des pathologies chroniques, la recherche des maladies dont on souhaite interroger les liens avec des expositions à des poussières inorganiques s'avère ardue et, en grande partie, décevante. Sur ce point, c'est-à-dire en matière seule de repérage des maladies, ESPS offre les possibilités les plus riches. Indépendamment de ce premier stade d'exploration, ces trois enquêtes présentent, comme on l'a compris, la limite commune de ne pas permettre autant qu'on le voudrait d'établir des corrélations entre pathologies déclarées et caractéristiques liées au travail. Dans ces trois enquêtes, des variables sont disponibles, qui offrent la possibilité de caractériser à grands traits la situation socioprofessionnelle des personnes (PCS, type d'emploi, type de contrat, statut d'emploi), mais toutes concernent davantage l'emploi que le travail lui-même ou les conditions dans lesquelles il est réalisé. Cette remarque vaut à plus forte raison dans une optique biographique : si l'on sait peu de choses sur le travail d'une personne interrogée, tel qu'il se caractérise à la date de l'enquête, on en sait encore moins pour ce qui concerne les différents types d'activités professionnelles qu'elle a pu exercer au cours sa vie. Étant donné le caractère souvent différé voire très différé de la survenue des maladies professionnelles, longtemps après le moment d'exposition, des informations de cette nature seraient pourtant cruciales pour comprendre les liens, sur le cours entier de la vie, entre environnement professionnel et état de santé à long terme. De plus, et en revenant aux caractéristiques de l'emploi présent, alors que la variable de PCS pourrait être complétée – selon la logique des matrices emplois-expositions que nous verrons plus loin – par une connaissance fine du secteur d'activité (variable comportant le code NAF), rares sont les enquêtes en population générale qui mettent cette information à disposition (SUMER est un cas rare à cet égard, qui manifeste un effort particulier de recodage). Dans EVS, HSM ou ESPS, le secteur est connu, mais d'une manière trop agrégée pour que l'on puisse à la fois vérifier des informations attendues (des expositions aux poussières dans les industries extractives, par exemple) ou en trouver de prospectives (qu'en est-il de l'état de santé dans certains sous-secteurs des activités agricoles que l'on peut suspecter d'expositions intenses à l'empoussièrement ?).

Qu'ont à offrir, en regard, les enquêtes qui centrent leur propos sur l'observation du travail ? Puisque le travail nous fait défaut dans le dispositif statistique d'observation de la santé, peut-on trouver dans les enquêtes travail de quoi combler ces lacunes, surtout à un moment où le travail, de plus en plus, tend à se dire dans les mots de la santé (Bruno *et al.*, 2011) ?

2.2 Les enquêtes statistiques centrées sur le travail

L'enquête sur la Surveillance médicale des expositions aux risques professionnels (SUMER), dont les deux dernières éditions ont été réalisées en 2003 et 2010⁶, présente au moins trois atouts précieux pour mener à bien notre projet. Tout d'abord, SUMER a permis en 2003, grâce au concours du réseau de médecins du travail enquêteurs sur lequel repose la collecte de ses données⁷, d'interroger près de 50 000 salariés représentatifs de 80% de la main-d'œuvre salariée travaillant en France. Une telle taille d'échantillon est plus

⁶ Les données de cette dernière enquête SUMER viennent d'être diffusées par le réseau Quételet, en ce début d'année 2013.

⁷ Questionnaire en face à face réalisé par le médecin du travail + auto-questionnaire remis à l'enquêté par celui-ci.

prometteuse, pour la robustesse statistique des résultats, que ne l'est celle de la plupart des enquêtes menées en population générale par la statistique publique. Par ailleurs, SUMER est la seule enquête de ce type, réalisée en France qui, comme l'indique son nom même, porte explicitement et de manière analytique sur les *expositions professionnelles à des nuisances*. L'exposition à la silice cristalline en fait partie, distinguée en tant que telle dans la rubrique « poussières » des « expositions aux agents chimiques », au sein d'une très longue liste d'autres expositions que le médecin du travail passe en revue⁸. Cette partie du questionnaire de SUMER concerne des expositions qui ont eu lieu au cours de la dernière semaine travaillée par les répondants. SUMER permet donc de quantifier, pour cette période de référence d'une semaine, une prévalence d'exposition à la silice cristalline (1,5%) pour l'immense majorité de la main-d'œuvre salariée travaillant en France, et d'en produire une représentation détaillée selon de nombreuses caractéristiques individuelles : sexe (2,5% pour les hommes, 0,2% pour les femmes), âge, PCS (3,5% pour les ouvriers, par exemple), secteur d'activité professionnelle, etc. Le troisième grand atout de SUMER pour notre propos réside dans ce dernier point. Comme nous l'avons précisé plus haut, SUMER est une des rares enquêtes statistiques françaises dont la variable indiquant le secteur d'activité (code NAF) fait l'objet d'un recodage soigneux et détaillé. On trouve donc dans SUMER une variable NAF à la fois mieux renseignée que dans la plupart des autres sources et déclinée selon divers degrés de détail (jusqu'au plus fin) de la nomenclature des activités françaises.

Nous consacrerons des publications plus détaillées aux résultats portant sur les expositions à la silice cristalline dans SUMER fourniront matière à d'autres publications plus détaillées. On peut toutefois en retenir, au titre des résultats exploratoires présentés ici, au moins deux éléments.

Le premier est que les secteurs d'activité *attendus comme très exposés* (mines, industries extractives, construction) apparaissent en effet comme *les plus exposés* (38% de la main-d'œuvre salariée du champ de SUMER dans les industries extractives, par exemple). À ce titre, la hiérarchie des fréquences d'exposition observée dans l'enquête ne surprend pas. L'examen des données à un niveau désagrégé assez fin des secteurs permet de préciser la nature de ces résultats : là où les expositions sont attendues comme massives, les fréquences relevées sont les plus élevées (ex. : 22 des 47 salariés interrogés dans le sous-secteur « sables et graviers » du secteur « industries extractives » sont déclarés exposés à la poussière de silice cristalline). Elles demeurent, malgré tout, certainement plus modestes qu'elles ne devraient l'être. Le cas du sous-secteur « sables et graviers » dans lequel, en fin de compte, plus de la moitié des salariés enquêtés ne sont (étonnamment) *pas déclarés exposés* à la silice, peut se compléter du résultat obtenu par le secteur « construction » pour étayer l'hypothèse d'une sous-estimation probable des niveaux d'exposition à ce matériau. Alors qu'il se situe en deuxième position dans l'ordre décroissant des prévalences sectorielles d'exposition (8,6% des salariés du secteur de la construction sont déclarés exposés à la silice), le secteur de la construction arrive très loin derrière les industries extractives, si bien que l'on peut supposer que l'on retrouve là un biais d'observation (et de sous-enregistrement) mis en évidence ailleurs par des travaux réalisés sur ce secteur d'activité (Beaudry *et al.*, 2011). Au total, l'examen de la fréquence des expositions dans les divers secteurs et sous-secteurs d'activité en niveaux, ainsi que leur comparaison et la hiérarchie selon laquelle ils se classent, tendent à étayer l'hypothèse selon laquelle les outils d'enregistrement de SUMER – du moins pour la silice cristalline, qui seule fait l'objet de notre analyse – présentent une spécificité satisfaisante mais sont probablement trop peu sensibles. Autrement dit, parmi les salariés

⁸ Au total, plus de deux cents situations de travail sont examinées, outre pour ces expositions aux risques chimiques, à propos des nuisances physiques, des expositions aux agents biologiques ou des contraintes organisationnelles.

repérés comme exposés aux poussières de silice selon SUMER, on compte certainement peu ou pas de « faux positifs » ; en revanche, parmi les « négatifs », une proportion (inconnue) d'individus est en réalité constituée de « positifs ». L'historiographie a permis de comprendre la silicose comme une « maladie-archipel » (Carnevale *et al.*, 2012) au sens où son repérage et donc son enregistrement et sa reconnaissance se sont toujours effectués de façon partielle et fragmentaire, dans les secteurs d'activité et la géographie à travers laquelle elle était attendue, « saisissable ». C'est notamment là où – et seulement là où – le corps médical était formé à la reconnaître (bassins miniers au premier chef, mais aussi régions de fabrication de la porcelaine ou d'exploitation de gisements d'ardoise) qu'elle s'est manifestée. La sensibilité relativement réduite des données de SUMER en matière d'enregistrement des expositions à la silice cristalline nourrit l'idée selon laquelle cette histoire du sous-repérage de la silicose joue encore de façon active. Le mode de collecte lui-même n'y est sans doute pas indifférent : au lieu d'avoir à signifier positivement ou négativement leurs réponses pour chacune des expositions (par des « oui » ou des « non » explicites), les médecins du travail enquêteurs de SUMER enregistrent seulement des réponses positives, lorsqu'elles le sont. Ce mode de remplissage (« non » par défaut, « oui » seulement lorsqu'il en est fait mention explicite) peut contribuer à accentuer l'effet du « déjà-connu » pour le médecin-enquêteur : recevant pour une visite ordinaire de médecine du travail un salarié travaillant dans un secteur donné, le médecin est encouragé par la forme même du questionnaire à coder les réponses selon une connaissance *a priori* de l'activité concernée. Le fait que l'exposition à la silice doive en outre être signalée pour la seule dernière semaine travaillée renforce certainement la faiblesse de la prévalence : cette période de référence, très courte, peut laisser passer à travers ses mailles des activités dans lesquelles, même parfois intenses, les expositions à la silice cristalline ne sont pas quotidiennes mais récurrentes, correspondant à des phases du cycle de production dont la périodicité dépasse un rythme hebdomadaire. À en rester là, conclure que les données de SUMER sont biaisées ou insuffisantes constituerait un jugement trop abrupt ou même erroné : la bonne représentativité de l'enquête sur la plus grande part de la main-d'œuvre salariée, le relevé (unique en son genre) des expositions professionnelles à la silice et la possibilité même, comme on vient de le voir, de pouvoir qualifier les limites dans l'interprétation des résultats, font de SUMER une source très pertinente et très utile.

Un second aspect des résultats confirme ce jugement, que nous développerons spécifiquement dans d'autres travaux. Le questionnaire de SUMER dressant un inventaire très large d'expositions à des nuisances professionnelles, il est possible d'examiner comment l'exposition à la silice cristalline s'additionne, au niveau individuel, à d'autres expositions. Un des enjeux presque constants de la définition et de la reconnaissance des pathologies professionnelles (et environnementales) se noue dans la difficulté à discerner, dans une recherche étiologique des causes de la maladie, « le » facteur exposant responsable. Une bonne partie des discussions engagées dans l'histoire au long cours de la silicose porte ainsi sur les facteurs de confusion possibles (pas tous professionnels, comme dans le cas du tabac par exemple) pouvant jouer aussi un rôle d'agent causal, à côté ou à la place de la poussière de silice cristalline. Les questions récentes soulevées à propos des effets délétères de la silice pour la santé pointent aussi de possibles effets *combinés* entre silice et, par exemple, poussières organiques (Newman & Newman, 2012)... On retrouve ici des interrogations de même nature que celles qui ont prévalu à propos d'autres pathologies⁹. Avec les données de SUMER, on repère des éléments objectifs pour alimenter ce type de discussion, étant donné que les salariés exposés à la silice sont aussi, beaucoup plus souvent que d'autres salariés exposés à des poussières, exposés à des types *multiples* de poussières. Par exemple, alors que

⁹ Voir par exemple le cas des éthers de glycol à ce sujet, autour de l'idée des cocktails de substances ou des effets d'adjuvants réciproques que celles-ci peuvent exercer (Jouzel, 2012).

parmi les salariés exposés à des poussières minérales (silice ou d'autres types de poussières minérales), 26% des personnes sont exposées à deux sortes de poussières différentes ou davantage, c'est le cas de 55% des exposés à la silice. Pour le dire autrement et en raccourci, être exposé à la silice signifie donc très souvent aussi être exposé à d'autres particules (avec un résultat analogue pour les expositions à l'ensemble « poussières minérales ou métaux » ou à l'ensemble « poussières minérales ou organiques »).

Malgré la faible sensibilité probable de ses résultats, on comprend que SUMER possède de nombreuses qualités pour permettre de décrire les formes et le contexte des expositions à la silice cristalline des salariés en France. Enquête centrée sur le travail et, précisément, sur les expositions à des nuisances du fait du travail, SUMER possède toutefois un angle aveugle qui freine notre exploration des liens entre exposition à la silice et état de santé. Comme le matériau des enquêtes santé s'avérait pauvre pour établir des corrélations entre état de santé et caractéristiques du travail, de façon symétrique ici, à partir du point de départ (le travail), nous en savons très peu sur l'état de santé des personnes. SUMER pose quelques questions sur la perception globale de leur état de santé par les personnes interrogées ou sur leur appréciation subjective à propos des effets de leur travail sur leur santé. Mais elle ne s'attarde pas à décrire un état de santé déclaré : pas d'enregistrement des maladies professionnelles, par exemple, pas de moyen de connaître l'existence éventuelle d'affections de longue durée (ALD), etc. On se heurte ici, alors même que se développent depuis quelques années de nombreuses questions sur les relations entre santé et travail, à l'héritage du dispositif statistique national. Historiquement, la préoccupation pour la santé s'y est forgée (avec la mise sur pied des enquêtes *ad hoc*) indépendamment des problèmes traités et mesurés par les enquêtes travail (Cavalin & Célérier, 2012a ; Cavalin, 2012), si bien que pour établir des corrélations entre caractéristiques individuelles d'emploi ou (surtout) de travail d'une part, et caractéristiques de santé d'autre part, les sources disponibles sont rarement bien équipées.

Si l'on s'intéresse aux données de l'enquête Conditions de travail, complémentaire à l'enquête Emploi et réalisée tous les sept ans, on bute sur la même limite. Conditions de travail (dernières données disponibles : 2005), comme SUMER, est issue de cette tradition des enquêtes statistiques préoccupées par le travail, centrées sur l'observation fine des conditions physiques dans lesquelles il est réalisé, et de la pénibilité que peuvent faire peser ces conditions pour ceux qui l'exécutent. Depuis SUMER 2003 surtout, dans le contexte ci-dessus mentionné d'un intérêt croissant pour la santé au travail, des évolutions sont perceptibles dans la statistique relative au travail. Les questions liées à la santé (et pas seulement physique) montent en puissance, certes. Mais s'il est de plus en plus question de santé dans ces enquêtes « travail », c'est essentiellement selon une logique où le paradigme sous-jacent, de nature épidémiologique, est celui du « *risque* pour la santé ». Cette optique ne conduit par conséquent pas à développer des pans de questionnaires destinés à recueillir l'état de santé des personnes (morbidité, etc.) *tel que celles-ci le déclarent*.

Une enquête, toutefois, Santé et itinéraire professionnel (SIP), issue d'une collaboration entre la DREES, la DARES et l'INSEE, répétée en panel en 2006 et 2010, s'efforce de marier les questions du champ de la santé à celles qui animent celui du travail. L'objet même de SIP, à sa fondation, réside dans ce projet d'articuler l'observation de l'état de santé à celle du parcours professionnel. Les deux dimensions sont, dans la vague 2006 de l'enquête, décrites de manière rétrospective, la vague 2010 permettant de recueillir à nouveau des informations rétrospectives (cette fois sur la période 2006-2010) et de créer un second point d'observation qui donne au dispositif SIP son caractère longitudinal. En principe donc, on dispose avec les données de SIP d'un réservoir potentiel d'informations très large sur le travail et l'emploi, en même temps que sur l'état de santé, pour l'ensemble du parcours de vie des individus interrogés. La taille de l'échantillon est par ailleurs également favorable à notre projet, avec

près de 14 000 enquêtés de 19 à 74 ans interrogés en 2006 et, après attrition relativement limitée, encore 11 000 personnes réinterrogées en 2010.

En entrant plus dans le détail des données de SIP, y trouve-t-on le moyen de marier enfin, par des corrélations librement déterminées par l'exploitation même des données, la santé des personnes, les activités professionnelles qu'elles ont exercées et, précisément, les expositions à des nuisances qu'ont pu entraîner ces activités ? La réponse à cette question est en résumé la suivante : tout en tenant leurs promesses pour une exploitation conjointe (croisée) des dimensions de la santé et du travail, les données de SIP sont d'une construction complexe ou, plus exactement, reposent sur des catégories très préconstruites (ex. : emplois « longs », « courts », liens causaux « préfabriqués » du travail vers la santé, etc.). Cette préconstruction contribue à rendre l'analyse partielle, parfois en partie biaisée sans que l'on puisse avec certitude juger de la nature ou de l'ampleur du biais produit par l'outil de collecte lui-même sur les résultats. Toujours pour le dire globalement, on peut estimer qu'au fond, même si elle fait l'effort de marcher sur les deux jambes « santé » et « travail », SIP demeure profondément une enquête « travail ». Le fil que déroule le questionnement de cette enquête est en effet d'abord celui du travail, c'est ce fil-là qui guide l'entretien et détermine comment ou à quel point il sera, aussi, fait état de questions en relation avec la santé. C'est sur ce fil-là que se greffent des « boucles » de questions posées à propos de la santé, soulevées à l'occasion d'événements ou de situations abordés dans l'entretien d'abord à propos du travail de la personne enquêtée. La logique suivie consiste à demander si et comment tel ou tel événement lié au travail a été influencé par l'état de santé de la personne ou si le travail, à telle ou telle étape du parcours professionnel, a eu des effets (perçus comme tels par le répondant) sur l'état de santé.

Les questions portant sur la santé en tant que telle n'arrivent que tard dans l'entretien, après le déroulement de ce fil « travail » en rapport avec lequel la santé a d'abord été évoquée, sous l'angle de sa dépendance à l'activité professionnelle (ou à son absence, bien évidemment, sous la forme du chômage ou de l'inactivité). On retrouve là certaines des questions usuelles des enquêtes santé, mais certainement avec un très fort effet de halo de l'enquête : les réponses qui y sont apportées par les répondants paraissent peu « typiques », *i.e.* difficilement comparables à ce qu'elles sont dans d'autres enquêtes santé qui abordent davantage ces questions de prime abord, ou en tout cas sans les faire précéder si longuement de la description des liens perçus entre santé et travail. Une illustration chiffrée frappante peut venir étayer cette hypothèse d'un fort effet d'enquête sur la nature des données de santé : elle porte sur la question « maladies chroniques » du mini-module européen de santé. On a vu plus haut que l'enquête EVS avait déployé de grands efforts de collecte pour lutter contre la sous-déclaration des maladies chroniques (avec force relances, définitions, etc.) : l'effet d'enquête, délibéré, avait produit une prévalence de maladies chroniques actuelles de 71%. Dans le cas de SIP, on peut s'attendre à une prévalence plus faible, mais sans que toutefois la différence soit considérable, puisque SIP a mis en partie, sur cette question, ses pas dans ceux d'EVS. Il était en particulier prévu dans le questionnaire 2006 de SIP que les enquêteurs montrassent aux enquêtés la liste de maladies utilisée dans EVS, pour les aider à déterminer leurs réponses à la question « Avez-vous actuellement une ou plusieurs maladies chroniques ? Une maladie chronique est une maladie qui dure ou durera, etc. ». Or, à cette même question, avec en principe l'appui de la même liste de réponses précodées, les enquêtés de SIP ne sont que 32% à donner une réponse positive. On ne rentrera pas ici dans le détail de l'explication d'un tel écart (32% *versus* 71% sur une population d'âge quasiment identique). Mais, outre que l'examen détaillé des prévalences tend à montrer que la liste des maladies n'a pas été présentée systématiquement aux répondants de SIP par les enquêteurs, comme cela était initialement prévu et comme cela s'est produit pour EVS, l'hypothèse de l'effet de halo du

questionnaire peut être convoquée : la santé, interrogée pour elle-même, en dehors de ses liens avec le travail mais après un long questionnement qui a déjà porté sur les relations entre santé et travail, n'est pas déclarée de la même manière que dans des enquêtes qui l'abordent plus rapidement ou plus directement.

On comprend donc que les données de SIP permettant de décrire l'état de santé doivent intégrer cet élément d'interprétation. De plus, dans la marche en avant de son questionnaire centré sur le travail et qui, chemin faisant, s'intéresse à l'état de santé, SIP prend des bifurcations et opère des choix très sélectifs. Le questionnaire de SIP demande notamment aux répondants de choisir trois événements liés au travail (au maximum) dont ils estiment qu'ils engagent des relations causales entre travail et santé, ainsi que trois événements de santé (au maximum) « qui [leur] semblent le plus liés à [leur] vie professionnelle, qu'il s'agisse de causes ou de conséquences ». C'est sur l'ensemble de ces événements, triés sur la base de critères causaux non objectivés et non explicites, que le questionnaire de SIP donne ensuite les éléments les plus détaillés. Ce sont ces seuls événements pour lesquels, par exemple, on pourra savoir s'ils ont été marqués par la reconnaissance d'une maladie professionnelle, par la déclaration d'une inaptitude au travail, s'ils impliquent des maladies causées ou aggravées par le travail, etc.

Comme on l'a dit pour SUMER (et comme cela vaut pour toute enquête, bien évidemment !), l'exploitation des données de SIP doit être accompagnée d'un souci qualitatif d'interprétation, impliquant notamment une réflexion sur la construction de son questionnaire et ses conditions de passation. Cela n'invalide pas, loin s'en faut, la pertinence du matériau pour notre propos. SIP, malgré ces réserves ou la prudence dont son interprétation doit faire l'objet, combine plus que d'autres les volets « santé » et « travail » dont nous avons besoin pour examiner les corrélations entre expositions à la silice et maladies chroniques. Pour ce qui est du relevé des maladies et une fois compris le cadre dans lequel elles sont enregistrées, on constate avec un certain contentement statistique (!) que SIP 2006 (données 2010 non encore disponibles par le réseau Quételet) permet d'observer 142 déclarations de cas de silicozes et d'autres maladies systémiques inflammatoires diverses (sarcoïdose, polyarthrite rhumatoïde, etc.). Étant donné ce que nous avons dit des prévalences de ces maladies, cet effectif est, à l'échelle de l'ensemble des sources disponibles en France en population générale, loin d'être négligeable.

Ce résultat exploratoire prend même plus de valeur encore lorsque l'on peut préciser qu'il pourra être exploité après un travail sur les données de SIP suivant la logique des matrices emplois-expositions dont il va maintenant être question. Ce travail assez lourd de mise en forme et recodage statistique sera réalisé au cours de l'année 2013 par l'équipe du projet SILICOSIS. Il permettra de tester les corrélations entre d'un côté les déclarations de ces 142 cas de maladies et, de l'autre, des expositions professionnelles à des poussières inorganiques qu'auraient pu occasionner des activités repérables par des codes de PCS et NAF (nomenclature des professions et catégories socioprofessionnelles et nomenclature des activités françaises).

2.3 La veille sanitaire à travers les matrices emplois-expositions

À la recherche de sources capables de nous informer, si possible de manière prospective, sur les effets des expositions aux poussières de silice cristalline sur la santé, nous devons également nous tourner vers l'apport des matrices emplois-expositions du programme Matgéné mis en place par le département Santé-travail de l'InVS au milieu des années 2000. En particulier, et au premier chef, nous nous intéressons à la matrice spécifiquement consacrée à la poussière alvéolaire de silice cristalline (Delabre *et al.*, 2010 ; Groupe de

travail Matgéné, 2010). La source, ici, n'est plus de même nature. Les matrices emplois-expositions ne sont certes pas sans rapport avec des dispositifs d'enquêtes statistiques en population générale, on va le voir ; on peut également en imaginer des usages combinés avec ces enquêtes (certains déjà réalisés, d'autres possibles, notamment en articulant SIP à la matrice silice). Mais les matrices, au lieu d'être des enquêtes statistiques menées en population générale, constituent des outils qui, tout en se fondant sur des relevés de données empiriques, développent une démarche *a priori*. Leur démarche est déductive et par conséquent contraire, dans une large mesure, à celle qui préside à une collecte de données en population générale.

En quoi la matrice silice peut-elle nous informer au sujet du risque silice ? Que peut-elle aider à dévoiler de l'invisibilité toujours à questionner du risque que crée, pour la santé humaine, l'exposition aux poussières de silice cristalline ?

Ainsi que l'explique le document publié par l'InVS en 2006 et qui fait le point sur les fondements et les objectifs du programme Matgéné (Luce *et al.*, 2006), les matrices emplois-expositions consistent à utiliser la connaissance des caractéristiques des emplois à des fins de surveillance épidémiologique. Ce principe, on le retrouve dans d'autres recherches menées par l'InVS, notamment dans le programme de surveillance épidémiologique Cosmop qui étudie la mortalité par profession d'après les données du recensement.

La démarche générale de construction d'une matrice emplois-expositions part tout d'abord d'une définition de l'objet même à l'origine du risque professionnel. Pour la silice (Delabre *et al.*, 2010), cet objet est du type « poussières », catégorie dans laquelle on trouve d'autres substances (que la silice) nuisibles pour la santé (amiante, cuir, ciment ou farine par exemple). Une définition des poussières « totales » est donnée pour ne retenir, au titre du risque examiné, que les poussières « alvéolaires » (*i.e.* dont le diamètre est inférieur à 5 μm). L'exposition est ainsi définie comme l'inhalation d'une substance chimique (la silice cristalline) dont la taille des poussières rend celles-ci susceptibles d'inhalation et, par la voie pulmonaire (alvéoles pulmonaires) donc, de dégâts pour la santé.

Une autre étape dans la construction d'une matrice réside dans l'établissement d'un repérage historique des secteurs d'activité dans lesquels le risque étudié a été ou est présent : l'évolution chronologique de la réglementation sur la mesure de l'exposition ou les protections est reconstituée pour savoir dans quelle mesure tel ou tel secteur professionnel, telle ou telle profession ont été historiquement exposés (ou non) au risque. Une fois déterminé ce périmètre historiquement daté du risque, restent à quantifier des indices d'évaluation de l'exposition, qui recouvrent la probabilité d'exposition¹⁰ au risque, la fréquence d'exposition¹¹ et son intensité¹². Ces trois paramètres, pour chaque type d'emploi, sont estimés à partir d'une collection d'informations puisées à de nombreuses sources et auprès de nombreux partenaires institutionnels de l'InVS. Sur ce versant-là de sa construction, une matrice repose sur une enquête, quant à elle est inductive puisque fondée sur des données empiriques. Une vaste revue de la littérature sur la mesure des risques est constituée, en même temps que des spécialistes en hygiène industrielle sont précisément questionnés et que des sources de mesure existantes sont mobilisées, telle la base de données Colchic constituée par l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS). Enfin, l'ensemble de ces paramètres est appliqué à des « emplois »

¹⁰ Défini comme la part des travailleurs d'un « emploi » donné exposés (aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre, pour ce qui nous intéresse).

¹¹ Définie comme le temps passé par un opérateur à effectuer les tâches exposantes, en proportion de son temps de travail total.

¹² Évaluée en tenant compte de la nature des tâches et de l'environnement de travail.

définis selon deux dimensions : la profession renseignée par la « profession et catégorie socioprofessionnelle » (PCS) et la branche d'activité qu'indique le code NAF¹³.

Au total, une matrice emplois-expositions repose donc en partie sur une démarche inductive, métrologique, sur un terrain d'activité donné où des experts sont consultés pour décrire finement les conditions matérielles de travail. Elle constitue toutefois un outil programmé pour un usage « *a priori* ». Selon les paramètres calculés de la matrice, à un emploi donné¹⁴ (= PCS x NAF) est en effet imputée une exposition donnée, mesurée par une probabilité d'être exposé, une fréquence de l'exposition dans l'emploi concerné, ainsi qu'une intensité.

De ce mode de construction des matrices emplois-expositions, découlent plusieurs usages possibles en matière de calculs. Nous en retenons trois, dont les deux premiers s'appuient sur le caractère « apriorique » des matrices et le troisième opte pour une approche différente.

Le premier usage calculatoire possible des matrices emplois-expositions se situe à un niveau individuel, comme le laisse entendre le portail Exp-Pro (« Exp-Pro » pour « expositions professionnelles ») de l'InVS. Ensemble d'« outils d'aide à l'évaluation des expositions professionnelles » pour « tout public », le portail Exp-Pro fournit des outils de calcul directement opérationnels¹⁵. Parmi les instruments mis à disposition, figurent les matrices emplois-expositions, consultables par l'entrée « emploi » ou « nuisance » (on en compte dix-neuf, y compris la silice cristalline). Chaque travailleur peut, comme peut aussi le faire son médecin du travail en vue d'une éventuelle demande de reconnaissance de maladie professionnelle, retracer les étapes historiques de sa carrière en relevant, époque d'emploi par époque d'emploi, les nuisances auxquelles il-elle a été exposé.

Le deuxième usage des matrices emplois-expositions est celui qui intéresse le plus directement le projet SILICOSIS. La démarche que peut suivre individuellement tout travailleur en reconstituant l'intégralité de son *cursum laboris* ou en évaluant, pour un moment donné de sa carrière, son exposition à une nuisance spécifique, s'applique ici à l'échelle d'un échantillon d'enquête : celui de SIP, dans lequel (après travaux de transposition et de recodage évoqués ci-dessus, voir fin du 2.2) il sera possible de reconstituer, pour le cours entier de la vie de travail des individus, les caractéristiques d'emploi selon les codes de secteurs d'activité (codes NAF) et de professions et catégories socioprofessionnelles (PCS)¹⁶. Si, pour une date donnée, une enquête permet de connaître l'emploi des personnes par le codage de leur PCS et leur code NAF, une prévalence de l'exposition à telle ou telle nuisance peut être calculée à ce moment t pour l'ensemble des répondants à l'enquête qui étaient alors en emploi. Le calcul consiste à appliquer les paramètres de la matrice disponibles sur le portail Exp-pro à l'ensemble de cette population. Si une enquête informe, plus largement, sur la totalité de l'itinéraire professionnel des individus interrogés en mentionnant pour chaque épisode d'emploi les caractéristiques de la profession et de la branche d'activité, la prévalence

¹³ PCS et NAF selon les nomenclatures françaises, mais aussi Classification internationale type des professions (CITP) et Classification internationale type des industries (CITI) pour la taxinomie internationale.

¹⁴ Non pas connu par une description « de terrain » de ses conditions de travail, mais caractérisé par ces seules caractéristiques taxinomiques que sont la PCS et la NAF.

¹⁵ Sur la page d'accueil du portail Exp-Pro, il est écrit que « la connaissance de l'exposition individuelle de travailleurs est un besoin quotidien pour des publics diversifiés concernés par la prévention ou la réparation des maladies professionnelles (médecins du travail, préventeurs en santé et sécurité au travail, médecins généralistes, associations de défense des victimes, etc.) ». C'est à l'ensemble de ces publics que le portail est destiné.

¹⁶ On n'entre pas ici dans le détail mais bien évidemment le relevé de la variable croisée PCSxNAF n'est pas exhaustif pour TOUS les emplois occupés, si brefs soient-ils au cours de la vie ! Aucune enquête ne peut parvenir à un tel récapitulatif... Pour chaque épisode d'emploi (court ou long) recensé par SIP, jusqu'à trois changements dans l'emploi peuvent être décrits, avec par conséquent, pour chacun de ces épisodes, au maximum quatre emplois différents distingués par leurs codes socioprofessionnel (PCS) et de secteur (NAF).

peut alors être calculée sur le cours entier de l'histoire professionnelle des personnes (parmi celles qui à un moment de leur vie au moins ont été actives en emploi). Que la source soit constituée par le suivi d'une cohorte ou se fonde sur une reconstitution rétrospective de l'itinéraire (SIP 2006-2010 possède ces deux dimensions), le matériau nécessaire au calcul de l'exposition au risque est disponible dès que les emplois sont historiquement datés et caractérisés par la profession et le secteur.

Prévalence de l'exposition professionnelle à l'inhalation de silice cristalline une année donnée (2007) ou prévalence de cette exposition sur le cours entier du parcours professionnel : c'est ce qu'a déjà calculé une équipe de l'InVS dans le document qui applique les paramètres de la matrice silice cristalline à « un échantillon de population en France » (Groupe de travail Matgéné, 2010). De ces résultats découle, enfin, la possibilité de calculer des fractions de risque attribuables pour une maladie donnée, lorsque des liens causaux sont connus entre l'exposition à une nuisance et cette pathologie. L'InVS en donne une illustration à propos des poussières de cuir et de farine (Luce *et al.*, 2006), mais aucun calcul de ce type n'est réalisé dans l'application de la matrice qui concerne la silice cristalline (Groupe de travail Matgéné, 2010).

Il existe une troisième voie calculatoire des croisements que l'on peut établir entre types d'emplois et expositions à des nuisances professionnelles : celle qui consiste à utiliser et à n'utiliser que des données tirées d'une enquête en population générale fournissant les informations adéquates à propos des emplois (PCS et NAF) et, à la date de l'enquête ou sur une période plus longue de la vie des répondants, la description des nuisances auxquelles leur activité professionnelle a pu les exposer. Pour chaque répondant à une telle enquête, « emplois » et « expositions » peuvent ainsi être mis en regard. Sur le principe, l'InVS émet des réserves à propos de la qualité d'une telle mesure des expositions accessible par voie d'enquête. Sans le concours d'experts tels que les hygiénistes industriels qui concourent à estimer les paramètres des matrices emplois-expositions évoqués ci-dessus, l'appréciation technique des conditions matérielles de travail est en effet sujette à caution. Malgré ces limites, l'InVS réalise de tels calculs grâce à l'enquête Suivi médical des expositions aux risques professionnels (SUMER) (Luce *et al.*, 2007) dont le protocole, appuyé comme on l'a vu précédemment sur la collaboration de nombreux médecins du travail, est précisément conçu pour limiter les biais dans l'observation des conditions matérielles du travail. La contribution de SUMER, à travers le programme de recherche Sumex (puis Sumex 2), donne ainsi une ouverture tout autre aux matrices emplois-expositions qui, dans ce cas, s'entendent comme le fruit de calculs réalisés *a posteriori*, en se fondant sur des données de terrain observées et déclarées (par des travailleurs et par les médecins du travail qui assurent leur suivi) au moment de la collecte de SUMER, en 1994 et 2003 respectivement pour Sumex et Sumex 2.

Pourquoi privilégierons-nous la voie SIP, articulée aux calculs d'exposition théorique (c'est-à-dire imputée sur la base du critère NAFxPCS) à la silice cristalline ? Pour une raison essentielle, qui s'ajoute aux arguments énoncés dans les lignes précédentes : SIP, avec les réserves d'interprétation des données que l'on a présentées, rend compte de l'état de santé déclaré de ses répondants. Le calcul des expositions auxquelles leurs emplois les ont soumis sera mis en regard des maladies et problèmes de santé qu'ils déclarent. Les 142 cas de silicoses et maladies systémiques inflammatoires pourront être, comme dans aucune autre source statistique disponible en France, confrontés à l'exposition estimée à la silice, selon les emplois occupés tout au long de leur vie par les enquêtés de SIP.

Conclusion

Ce panorama des questions laissées encore pendantes ou même réactivées depuis une vingtaine d'années sur l'impact sanitaire de l'exposition aux poussières de silice cristalline nous a permis de comprendre que le risque silice, à la fois identifié, connu dans ses origines et ses manifestations depuis plusieurs décennies, demeure sous-évalué, certainement mésestimé dans la diversité de ses causes et de ses conséquences. Cette sous-estimation s'exprime notamment par un constat : considérés individuellement, malgré leurs atouts respectifs, les instruments qui pourraient ou devraient permettre de le quantifier, de le localiser et donc de le prévenir, y compris de manière prospective si l'on pense à un impératif de vigilance sanitaire, sont tous partiellement aveugles et donc impuissants à atteindre cet objectif. Seule une saisie d'ensemble, qui s'efforce d'articuler leurs points de vue respectifs, permet de faire ressortir quelques cohérences qui semblent compatibles avec les nouvelles observations cliniques disponibles depuis une vingtaine d'années – mais qui par définition restent à étayer, nuancer ... ou invalider plus solidement sur le plan statistique. Ces lacunes donnent sa raison d'être au projet pluridisciplinaire SILICOSIS qui va s'efforcer, dans les années à venir, de créer de nouveaux instruments d'observation et de produire des résultats rendant visibles les formes jusqu'ici méconnues du risque sanitaire provoqué par la silice cristalline.

Bibliographie

- Arnaud L., Mathian A., Amoura Z. (2011). Manifestations cliniques et biologiques du lupus systémique, *Revue du praticien*, novembre, vol. 61, 1254-1258.
- Beaudry C., Dion C., Gérin M., Perrault G., Bégin D., Lavoué J. (2011). Exposition des travailleurs de la construction à la silice cristalline. Bilan et analyse de la littérature, Montréal : Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité du travail.
- Bruno A.-S., Geerkens E., Hatzfeld N., Omnès C. (2011). La santé au travail. Regards comparatistes sur l'historiographie récente, in Bruno A.-S., Geerkens E., Hatzfeld N., Omnès C. (dir.), *La santé au travail, entre savoirs et pouvoirs (19^e-20^e siècles)*, Rennes : PUR, p. 13-40.
- Carnevale F., Rosental P.-A., Thomann B. (2012). Silice, silicose et santé au travail dans le monde globalisé du XXI^e siècle, in Courtet C., Gollac M. (eds), *Risques du travail : la santé négociée*, Paris : La Découverte, p. 83-101.
- Cavalin C. (2010). Violences, santé et événements de vie difficiles, in F. Beck, C. Cavalin, F. Maillochon (dir.), *Violences et santé en France : état des lieux*, Paris : La documentation française, p. 35-51.
- Cavalin C. (2012). Violences au travail : que mesure-t-on dans les enquêtes ?, *Connaissance de l'emploi*, 96, septembre.
- Cavalin C., Célérier S. (2012a). Mesurer les dimensions mentales de la santé au travail. Sous quels angles ?, in Stroobants M. (ed), *Mesures et démesures du travail*, ouvrage sous presse, Bruxelles : Éditions de l'Université Libre de Bruxelles.

- Cavalin C., Célérier S. (2012b). Une mesure de la santé à l'âge du travail. Approche du travail par la santé à partir de l'enquête Événements de vie et santé (EVS, DREES, 2005-2006), Noisy-le-Grand, Centre d'études de l'emploi, Rapport de recherche n° 78.
- CIRC (2012). IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Silica Dust, in the Form of Quartz or Cristobalite, volume 100 C, 355-405.
- Dauphinot V., Naudin F., Guéguen R., Perronnin M., Sermet C. (2006). Écarts entre morbidité déclarée et morbidité diagnostiquée. L'exemple de l'obésité, de l'hypertension artérielle et de l'hypercholestérolémie, Questions d'économie de la santé, 114, novembre.
- Dauphinot V., Naudin F., Guéguen R., Perronnin M., Sermet C. (2008). Écarts entre morbidité déclarée et morbidité diagnostiquée. L'exemple de l'obésité, de l'hypertension artérielle et de l'hypercholestérolémie, Revue française des Affaires sociales, 1, p. 15-27.
- Delabre L., Pilorget C., Garras L., Févotte J. et le groupe de travail Matgéné (2010). Éléments techniques sur l'exposition professionnelle aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre. Présentation d'une matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre, février, Saint-Maurice : InVS.
- Grobelaar J.P., Bateman E.D. (1991). Hut lung: a domestically acquired pneumoconiosis of mixed aetiology in rural women, Thorax, 46, p. 334-340.
- Groupe de travail Matgéné (2010). Présentation d'une matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de silice cristalline libre. Quelques applications à un échantillon de population en France, février, Saint-Maurice : InVS.
- Guillemin F., Saraux A., Guggenbuhl P., Roux Ch., Fardellone P., Le Bihan E., Cantagrel A., Chary-Valckenaere I., Euller-Ziegler L., Flipo R.-M., Juvin R., Behier J.-M., Fautrel B., Masson C., Coste J (2005). Prevalence of rheumatoid arthritis in France: 2001, Annals of Rheumatic Diseases, October, 64(10), 1427-1430.
- Haustein U.F., Ziegler V. (1985). "Environmentally induced systemic sclerosis-like disorders", International Journal of Dermatology, April, 24(3), 147-151.
- Haustein U.F., Andereg U. (1998). « Silica-induced scleroderma – clinical and experimental aspects », Journal of Rheumatology, October, 25, 10, p. 1917-1926.
- Jouzel J.-N. (2012). Des toxiques invisibles. Sociologie d'une affaire sanitaire oubliée, Paris, éditions de l'EHESS.
- Koeger A.C., Lang T., Alcaix D., Milleron B., Rozenberg S., Chaibi P., Arnaud J., Mayaud C., Camus J.P., Bourgeois P. (1995). Silica-associated connective tissue disease. A Study of 24 cases, Medicine, September, 74(5), 221-237.
- Luce D., Févotte J., avec la contribution de Arslan M., Delabre L., Ducamp S., Garras L., Orłowski E., Pilorget C., Thuret A. (2006). Le programme Matgéné. Matrices

- emplois-expositions en population générale – État d’avancement septembre 2005, avril, Saint-Maurice : InVS.
- Luce D., Guéguen A. *et al.* (2007). Réalisation d’une matrice emplois-expositions à partir des données de l’enquête Sumer 2003, septembre, Saint-Maurice : InVS.
- Musu T., Sapir M. (2006). Silice : l’accord empêchera-t-il l’UE de légiférer ?, HESA Newsletter, octobre, 30-31, p. 4-9.
- Newman K.L., Newman L.S. (2012). Occupational cause of sarcoidosis, *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 12, p. 145-150.
- Norboo T., Yahya M., Kamat S.R., Pooley F.D., Corrin B., Kerr I.H., Bruce N., Ball K.P. (1991), Silicosis in a Himalayan village population: role of environmental dust, *Thorax*, 46, p. 341-343.
- Parks C.G., Cooper G.S., Nylander-French L.A., Sanderson W.T., Dement J.M., Cohen Ph.L., Dooleey M.A., Treadwell E.L., StClair E.W., Gilkeson G.S., Hoppin J.A., Savitz D.A. (2002). “Occupational Exposure to Crystalline Silica and Risk of Systemic Lupus Erythematosus. A Population-Based, Case-Control Study in the Southeastern United States”, *Arthritis & Rheumatism*, 56(7), July, 1840-1850.
- Parks C.G., Cooper L.S. (2005). Occupational exposures and risk of systemic lupus erythematosus, *Autoimmunity*, November, 38, 7, p. 497-506.
- Rosental P.-A., Devinck J.-C. (2007). Statistique et mort industrielle : la fabrication du nombre de victimes de la silicose dans les houillères en France de 1946 à nos jours, *Vingtième siècle*, 95, 3, 75-91.
- Rosental P.-A. (2008). La silicose comme maladie professionnelle transnationale, *Revue française des Affaires sociales*, 2-3, 255-227.
- Rosental P.-A. (2009). De la silicose et des ambiguïtés de la notion de “maladie professionnelle”, *Revue d’histoire moderne et contemporaine*, 56, 1, 83-98.
- Rosental P.-A. (2013). Les guerres du poumon. La cigarette et l’ignorance distribuée, *La Vie des idées*, 30 janvier (téléchargeable à l’adresse : <http://www.laviedesidees.fr/Les-guerres-du-poumon.html>)
- Rosental P.-A. (dir.) (2013). *Dust to Dust: World History of a Negotiated Disease*, manuscrit en cours de soumission pour publication.
- Vincent M., Lièvre M (2002). Sarcoïdose et empoûssièremment pulmonaire, une hypothèse pathogénique qui prend du crédit, *Revue des maladies respiratoires*, 19(1), février, 103-104.
- Vincent M., Chemarin C., Peyrol S., Thivolet F., Champagnon B. (2004). Application cutanée de talc et sarcoïdose. À propos de deux cas, *Revue des maladies respiratoires*, 21, 811-814.

Vincent M., Chemarin C. (2011). Impact sanitaire de la pollution particulaire minérale à l'intérieur des locaux, *Revue des maladies respiratoires*, 28, p. 496-502.