



HAL
open science

Concevoir la prévention des risques liés aux nanomatériaux à partir de l'activité des travailleurs et la discussion sur le travail : cas des laboratoires publics de recherche et du secteur industriel.

Sandrine Caroly, Eric Drais

► To cite this version:

Sandrine Caroly, Eric Drais. Concevoir la prévention des risques liés aux nanomatériaux à partir de l'activité des travailleurs et la discussion sur le travail : cas des laboratoires publics de recherche et du secteur industriel.. [Rapport de recherche] Notes scientifiques et techniques NS 348, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 2016, 89 p. hal-01548020

HAL Id: hal-01548020

<https://hal.science/hal-01548020v1>

Submitted on 27 Jun 2017

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.

scientifique & technique
note
note scientifique
& technique
scientifique
technique

**Concevoir la prévention des risques liés
aux nanomatériaux à partir de l'activité
des travailleurs et la discussion sur
le travail : cas des laboratoires publics
de recherche et du secteur industriel**

Concevoir la prévention des risques liés aux nanomatériaux à partir de l'activité des travailleurs et la discussion sur le travail : cas des laboratoires publics de recherche et du secteur industriel

Sandrine Caroly*, Eric Drais**

* Université Grenoble Alpes, laboratoire Pacte

** INRS, département Homme au Travail, laboratoire Gestion
et Organisation pour la Santé et Sécurité au Travail

Avec la collaboration de Catherine L'Allain, Hassan Skaïky,
Sarah Dubernet, Olivier Witschger, Myriam Ricaud

NS 348
novembre 2016

Résumé : Ce rapport présente les résultats de 4 ans de recherche en partenariat entre le laboratoire PACTE et l'INRS sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux. L'utilisation des nanomatériaux constitue aujourd'hui une innovation technologique majeure dans tous les secteurs d'activité. Ces nouveaux matériaux représentent des enjeux scientifiques et économiques importants et posent des questions quant à leurs effets sur la santé et sur l'environnement.

Il s'agit de comprendre les pratiques réelles de prévention mises en œuvre par rapport à ce risque émergent, en explorant les représentations du risque des salariés en lien avec leurs activités de travail. Il s'agit aussi d'explorer comment la mobilisation des acteurs de l'entreprise autour du dispositif de prévention et leur confrontation à l'action et à l'activité de travail transforment leurs représentations et créent du débat sur la prescription à construire.

Les espaces de débat sur le travail apparaissent comme un instrument de prévention permettant la production collective de règles et la transformation des représentations du risque chez les salariés.

Mots clés : prévention, nanomatériaux, travail, représentation, espace de discussion, risque, collectif.

Abstract: The aim of this report is to present the results of research during 4 years about nanomaterials risk prevention, with partnership between Pacte laboratory and INRS.

The use of nanomaterials is today a major technological innovation in all business sectors. These new materials have important scientific and economic issues and ask questions about their effects on health and the environment.

This is to understand the real prevention practices implemented in relation to this emerging risk, exploring the risk representations of the workers in connection with their work activities. It is also to explore how the mobilization of corporate stakeholders around the prevention device and their confrontation to action and work activity transform their representations and create debate on the prescription to build.

We wish to question the discussion areas about work as a prevention tool that enable the transformation of risk representations among workers and the collective production of rules.

Key words: prevention, nanomaterials, representation, work, discussion area, risk, collective.

Remerciements : Cette recherche a pu se réaliser dans le cadre d'un partenariat avec l'INRS, que nous remercions pour nous avoir facilité l'accès au terrain et donné les moyens de réalisation de cette recherche. Nous tenons également à remercier l'ensemble des membres du comité pilotage, qui nous ont permis de discuter nos productions scientifiques et d'interroger nos méthodologies, particulièrement C. Ferré, E. Gaffet, A. Garrigou, M. Riediker, C. Oillic-Tissier, D. Vinck. Nous remercions vivement toutes les entreprises ou laboratoires publics, ainsi que les salariés qui ont participé à cette recherche.

Sommaire

	Pages
Introduction.....	8
1. Le contexte de recherche en sciences sociales sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux.....	10
1.1. Un contexte d'innovation perçue entre bénéfices et risques pour la société.....	10
1.2. Des controverses sur les effets des nanomatériaux sur la santé.....	13
1.3. Les questions de la prévention des risques professionnels liés aux nanomatériaux...	16
1.3.1. Les contradictions du principe de précaution dans un contexte d'incertitude.....	16
1.3.2. Les interrogations et les demandes des entreprises.....	18
2. Problématique de la prévention des risques liés aux nanomatériaux : entre perception et gestion du risque, une question d'activité de travail à débattre.....	21
3. Cadre théorique sur la perception des risques, l'activité et les espaces de débat..	23
3.1. Les stratégies de prudence et la perception des risques.....	23
3.2. Théorie de l'activité et notion d'activité collective.....	24
3.3. Les espaces de débat sur le travail et la conduite de projet.....	26
4. Méthodologie de la recherche-action.....	28
4.1. Approche descriptive des pratiques de prévention ou démarche d'intervention ergonomique visant la prévention des risques liés aux nanomatériaux.....	28
4.2. Caractéristiques des données de terrains en entreprises industrielles et en laboratoires de recherche.....	30
4.3. Des séminaires de recherche avec un comité d'experts en SPI et SHS.....	31
5. Résultats : de la perception des risques à la conception d'une prévention des risques liés aux nanomatériaux fondée sur l'activité de travail.....	33
5.1. Une perception du risque en laboratoire influencée par les enjeux d'innovation, les métiers et les équipements de travail.....	33
5.1.1. Enjeux d'innovation et perception des risques.....	33
5.1.2. Effets du métier des travailleurs sur la perception des risques : chimiste versus physicien.....	36
5.1.3. En quoi l'équipement vient interroger la perception des risques des laboratins ?.....	42
5.2. Des femmes à l'origine des demandes d'intervention sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux : quelles questions sur la perception et la gestion des risques ?..	47
5.3. Concevoir une démarche de prévention des risques liés aux nanomatériaux dans le milieu industriel, fondée sur l'articulation entre représentation et action.....	53
5.3.1. Contexte de l'intervention dans l'entreprise A.....	53
5.3.2. La démarche d'intervention : des entretiens, des observations, des simulations.....	55

5.3.3. Les effets de l'intervention sur les changements de représentations des risques liés aux nanomatériaux et les actions de prévention.....	57
5.3.4. Synthèse sur le cas d'intervention à propos des articulations entre action et représentation pour concevoir un dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux.....	63
5.4. Des transformations des représentations et des actions de prévention des risques liés aux nanomatériaux dans le milieu industriel issues des espaces de discussion sur le travail.....	65
5.4.1. Contexte d'intervention de l'entreprise B.....	65
5.4.2. La démarche d'intervention.....	66
5.4.3. Des espaces de débats sur le travail ayant des effets sur des changements de représentation du risque lié aux nanomatériaux.....	68
5.4.4. Des espaces de discussion sur le travail amenant à la production de règles collectives de protection vis-à-vis du risque lié aux nanomatériaux.....	70
5.4.5. Synthèse des résultats sur la perception et la gestion des risques issues des espaces de débat sur le travail.....	71
6. Discussion sur les perspectives scientifiques et pratiques pour prévenir les risques liés aux nanomatériaux.....	72
6.1. Améliorer la perception des risques chez les salariés et les décideurs à partir de la compréhension de l'activité et la création de débats sur le travail.....	73
6.1.1. Des représentations qui dépendent de l'activité.....	73
6.1.2. Des transformations des représentations qui viennent des espaces de discussion sur le travail.....	74
6.1.3. Une construction sociale de la prévention, résultat de la création de collectif de travail.....	75
6.1.4. De l'action aux représentations.....	76
6.2. Développer la sécurité réglée à travers des objets intermédiaires de discussion sur les risques : place des équipements et des procédures dans la gestion réelle des risques..	77
6.3. Tenir compte du contexte d'incertitude et d'innovation dans la conception du dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux.....	79
Conclusion.....	82
Bibliographie.....	83
Annexe : liste des publications issues de cette recherche.....	88

Introduction

Ce rapport de recherche fait suite à un partenariat entre le laboratoire Pacte de l'université de Grenoble et l'INRS d'une durée de quatre ans, entre 2010 et 2014. Le programme de recherche intitulé « construction et gestion des risques professionnels liés aux nanoparticules » avait pour objectif de produire des connaissances sur les pratiques de prévention liée aux nanoparticules dans un contexte de prévention relativement mal défini (réglementation en cours d'élaboration, prévention des risque interpellée entre la mesure et la maîtrise des risques, effets médiatiques du débat sociétal, etc.). Peu d'études portent sur les pratiques réelles des travailleurs et des travailleuses manipulant des nanoparticules, et encore moins sur le lien entre leurs pratiques et leurs perceptions des risques et les actions mises en œuvre comme moyen de prévention. Notre postulat était, plutôt que d'attendre la production de connaissances stabilisées pour en déduire des moyens de prévention, de chercher à identifier comment les pratiques, issues de l'analyse du travail sur le terrain, peuvent contribuer à produire des connaissances sur la prévention des risques liés aux nanoparticules.

L'objectif de notre recherche était donc de saisir et décrire **les activités réelles de travail** des salariés des laboratoires de recherche et des entreprises industrielles, leurs expositions potentielles et leurs manières de se protéger ou de préserver leur santé selon la variabilité des situations de travail (produit/process, tâches, fonctionnements des machines, règles ou procédures, types d'outils ou d'équipement, nature du travail collectif, etc.). Plus exactement, il s'agissait de comprendre comment l'action est déterminée par les représentations des risques, mais également comment les changements de pratique contribuent à modifier les perceptions des risques.

Nos deux hypothèses principales de départ qui ont structuré ce projet étaient les suivantes :

1/ L'approche des risques liés aux nanoparticules ne se réduit **pas à un « modèle » général de risque** comme le laissaient à penser la majorité des recommandations au début de la recherche. Au contraire, plusieurs « modèles » s'agencent et cohabitent suivant les particules considérées, les secteurs d'activité et les acteurs en présence (chercheurs, préventeurs, utilisateurs, politiques, etc.).

2/ **Les dispositifs de prévention se construisent et se recombinent** régulièrement, au gré de l'intervention des divers acteurs ; le débat et la discussion sur le travail et ses risques potentiels permettent de construire des connaissances sur les risques, d'innover pour élaborer des outils techniques et construire des actions de prévention.

Ces hypothèses sont confirmées par nos résultats, qui nous permettent de montrer que les connaissances des travailleurs sur le risque liées aux nanoparticules sont lacunaires et associées à d'autres risques (notamment le risque chimique) et les questions sur les moyens de se protéger sont variables selon l'activité de travail, les caractéristiques des travailleurs, les métiers et le contexte de relations entre les partenaires sociaux ou les acteurs en présence. Il apparaît indispensable, face à ce modèle instable de prévention qui varie en permanence et au cours du temps sur un axe entre deux pôles – déni du risque et peurs exagérés –, **de poser l'activité de travail comme objet de débat** entre les acteurs et comme lieu de production de connaissances sur l'identification des risques et les formes de régulation des situations perçues comme critiques.

Le rapport s'organise autour de l'apport de l'analyse de l'activité des travailleurs et travailleuses des laboratoires de recherche et des entreprises industrielles sur la construction de dispositifs de prévention des risques liés aux nanomatériaux par les acteurs. Nous élargissons ce rapport aux risques liés aux nanomatériaux¹ car nos observations de terrain nous ont amenés à prendre en compte une portée plus étendue de ces objets que celles uniquement des nanoparticules.

L'intérêt de cette recherche était la **collaboration entre des chercheurs en sciences humaines et des chercheurs en sciences techniques**, notamment en métrologie de l'INRS, qui nous ont permis d'accéder à des terrains d'étude et d'interroger les représentations que pouvaient avoir les salariés et les acteurs des mesures d'exposition sur les risques potentiels et d'engager des interventions sur la conception de dispositif de prévention. Notre équipe pluridisciplinaire a pu également bénéficier de l'apport d'experts sur les nanosciences dans le cadre d'un comité de pilotage de la recherche, qui a contribué à étayer l'analyse et l'interprétation de nos résultats.

Le plan de ce rapport est composé de six parties : une première partie vise à positionner l'objet de la recherche sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux dans les recherches en sciences sociales – notamment la perception des innovations entre bénéfiques et risques pour la société, les controverses des effets des nanomatériaux sur la santé dans un contexte d'innovation, les questions posées à la prévention des risques professionnels comme les contradictions entre principe de précaution et rapport à l'incertitude, et enfin les interrogations des entreprises. Cela permet de pouvoir énoncer dans une deuxième partie la problématique des liens entre perception et gestion des risques au regard de l'activité de travail. La troisième partie aborde le cadre théorique en ergonomie, psychologie du travail et en sociologie qui sous-tend cette problématique, à savoir les notions de perception des risques et de stratégies de prudence, le concept d'activité, l'approche de l'activité collective et les espaces de débat sur le travail participant à la conception de dispositifs de prévention. La méthodologie fondée sur l'analyse du travail, l'intervention ergonomique ou des approches qualitatives, est détaillée en quatrième partie. La cinquième partie porte sur l'analyse des résultats et s'organise autour de deux grands axes : la perception du risque nanomatériaux influencée par les enjeux d'innovation, les caractéristiques des travailleurs et les équipements de travail ; les transformations des représentations du risque lié aux nanomatériaux dans le milieu industriel comme résultats des espaces de discussion sur le travail. La sixième partie met en discussion la façon dont il est possible de concevoir des dispositifs et des actions de prévention à partir de la confrontation des acteurs sur le travail réel dans un contexte d'incertitude et d'innovation.

¹ Il existe deux grandes familles de nanomatériaux (INRS, 2012) :

- Les nano-objets (nanofeuillet, nanofibre et nanoparticule) qui sont des nanomatériaux dont une, deux ou trois dimensions externes se situent à l'échelle nanométrique, c'est-à-dire approximativement entre 1 et 100nm.
- Les matériaux nanostructurés qui sont des matériaux possédant une structure interne ou de surface à l'échelle nanométrique.

1. Le contexte de recherche en sciences sociales sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux

1.1. Un contexte d'innovation perçue entre bénéfiques et risques pour la société

L'émergence des nanomatériaux constitue aujourd'hui une innovation technologique majeure qui va influencer largement la production du monde industriel dans de multiples secteurs comme l'agroalimentaire, l'électronique, l'aéronautique, la cosmétique, le domaine médical, le textile, l'automobile, les matériaux de construction par exemple. Les propriétés chimiques, mécaniques, optiques ou biologiques inédites des nanomatériaux offrent une grande diversité de potentialités en termes d'applications nouvelles. Ces utilisations futures représentent des enjeux scientifiques et économiques importants pour nos entreprises.

Dans le langage courant, le public ou les médias parlent de nanotechnologies pour désigner les nanomatériaux. Les nanotechnologies prennent une place de plus en plus importante dans notre vie quotidienne. Selon les études de consommation, il existe en 2014 plus de 700 produits de la vie quotidienne utilisant des nanoparticules, notamment les cosmétiques, les bétons de revêtement, les peintures, les pneus, les vitres, les composants électroniques. Dans le milieu médical, les nanotechnologies offriront des propriétés innovantes améliorant le fonctionnement du corps humain (implantation de produits technologiques ou de médicaments à l'intérieur du corps) voire d'augmentation des capacités humaines posant des questions éthiques sur le transhumanisme. Le renouveau industriel en France et dans d'autres pays industrialisés vise à orienter les axes prioritaires de production et d'innovation sur la bionanotechnologie, la nanoélectronique, les produits intelligents, etc., c'est-à-dire tout ce qui relève des technologies de l'infiniment petit considérées comme une nouvelle révolution industrielle. Les enjeux économiques et politiques sont importants et guident les stratégies politiques et le développement industriel d'une offre et de produits nouveaux (Arousseau et coll., 2013).

La nanoscience se développe rapidement dans ce contexte d'innovation et ne relève pas seulement des domaines scientifiques relatifs à une technologie singulière ou aux domaines spécifiques de la biologie, de la chimie ou de la physique. La nanoscience n'est pas réductrice à une technologie et renouvelle les questions et les définitions des problèmes de la conception, de la production et de la prévention.

Les bénéfices de ces innovations perçus par le public ne seraient pas uniformes d'un pays à l'autre (OSHA, 2012). Aux Etats-Unis l'opinion générale est favorable puisqu'une majorité de gens sont convaincus que les bénéfices des nanotechnologies l'emportent sur les risques alors qu'en Europe, seulement 29 % du public pense que les nanotechnologies peuvent améliorer la façon de vivre (source, revue « Environnement, Risques & Santé » No.5 de septembre 2007). Cependant ces résultats un peu anciens sont à remettre dans notre contexte actuel. Il apparaît que les résultats sur la perception du rapport bénéfice/coût des nanoparticules sont controversés entre les études, essentiellement du fait que la société civile connaisse finalement assez peu l'existence de nanomatériaux dans les produits de la vie quotidienne (cosmétique, électronique, alimentaire, etc.). Une étude de Siegrist et al. (2007) aux USA sur la perception des bénéfices de l'usage des nanotechnologies dans l'alimentaire et les emballages alimentaires montre que le public perçoit une variété d'applications différentes. Le croisement entre des variables de perception d'effet négatif et de contrôle explique la variation des perceptions des risques et des bénéfices.

Plusieurs autres études montrent que le public n'est pas familier avec le terme nanotechnologie (Cobb & Macoubrie, 2004; Scheufele & Lewenstein, 2005). Du côté de la société civile, la connaissance sur les nanomatériaux est faible. Les travaux de Vinck (2009) permettent de décrire les représentations du public sur les nanomatériaux. Par exemple, il note une diversité de représentations du public : « les nanotechnologies c'est compliqué, on y comprend rien », « les nanotechnologies c'est l'affaire de quelques savants fous », « les nanotechnologies c'est l'affaire de quelques-uns qui tirent les ficelles », « avec les nanotechnologies, le bonheur est enfin pour demain », « le public et les opposants ont des peurs exagérées », « les nanotechnologies mettent en péril les générations futures », « si on ne le fait pas, les Chinois les feront ». Lorsque les nanomatériaux sont mieux connus par le public par le biais des médias, les questions sont nombreuses : qu'est-ce que les nanotechnologies ? A quoi servent-elles ? Sont-elles dangereuses ? Quelle peut-être l'action de la société civile dans une innovation responsable ?

Les études de Slovic ont déjà montré que la perception du bénéfice a un impact négatif sur la perception des risques (Slovic, 1987 ; Alhakami & Slovic, 1994). On retrouve ce résultat dans l'étude de Siegrist et al., les participants qui perçoivent plusieurs bénéfices associés aux applications nanotechnologiques alimentaires perçoivent peu de risques par rapport aux gens qui perçoivent peu de bénéfices. Il apparaît ainsi, avec des travaux déjà anciens, que le risque choisi diminue davantage la perception des risques que le risque subi (Slovic, 1987). Le sentiment de maîtrise du risque dans l'action joue aussi un rôle important sur la perception du risque. Par exemple, dans l'étude de Siegrist et al., les participants de l'étude perçoivent les applications des « nano-inside » (dans l'alimentaire) comme relativement risqué et les applications des « nano-outside » (dans l'emballage alimentaire) comme peu risqué.

Selon un sondage IPSOS réalisé en 2011, la majorité des français se dit mal informée sur le sujet (69%). Cependant une très large majorité de sondés (88%) souhaite que l'on développe la recherche en nanotechnologies. Le risque lié aux nanoparticules est globalement peu perçu par les français selon le baromètre IRSN 2014. Les français ne classent pas ce risque dans leurs préoccupations actuelles parmi la liste des 33 situations à risque. Concernant la situation des nanoparticules, 13,5% ne savent pas répondre sur ce risque, 24,3% le considèrent comme faible, 38,6% comme moyennement élevé et seulement 23,6% comme élevé. Ils sont donc nombreux à ne pas connaître le risque lié aux nanomatériaux. Les résultats du baromètre IRSN sur le risque nanoparticules entre 2009 et 2014 montrent que la perception de ce risque par les français n'a pas évolué en 5 ans (Drais, 2014). Parmi le public évaluant le risque nanoparticule comme élevé (23,6%), 12,9% ont confiance dans les autorités françaises pour les actions de protection des personnes. Ce sentiment de confiance n'évolue pas entre 2009 et 2014. La crédibilité du message (perception que la vérité est dite) concerne seulement 7,4% du public sur les nanoparticules, sans évolution en 5 ans. Ceci renforce l'idée que le public ne connaît pas bien les nanomatériaux et leurs impacts possibles sur la santé.

Ceci nous amène à penser que les nanomatériaux sont assez peu connus du public. Ainsi, nous nous demandons si la perception des risques est plus élevée chez les travailleurs qui manipulent des nanomatériaux que dans le public, qui n'est pas en contact avec ces matériaux dans l'acte de fabrication mais qui est utilisateur. Autrement dit, le risque est-il mieux connu et perçu chez les experts (les travailleurs) que les profanes (les consommateurs) (OSHA 2012) ? Dans certaines études, il apparaît que plus le niveau de connaissance est élevé en nanotechnologie, plus les bénéfices potentiels de ces recherches sont perçus (Kahan & al., 2009). Mais on peut penser également que plus le niveau de connaissances augmente, plus les

questions sur les risques des nanotechnologies peuvent être nombreuses. Le conflit entre innovation et prévention peut alors être important.

Ainsi, il apparaît nécessaire de faire la distinction entre les profanes et les experts sur les risques liés aux nanomatériaux. On pourrait penser que les experts ont une perception des risques plus élevée que les profanes, qui ne connaissent pas les produits, ni les risques associés. En réalité, les mécanismes psychologiques défensifs face à un risque, les biais cognitifs ou les croyances amènent parfois les experts à moins percevoir le risque que les profanes. Dans le cadre d'un risque non visible et difficilement évaluable, ces processus psychologiques agissant sur la perception des risques pourraient être utiles comme outil d'analyse pour comprendre des écarts entre des populations (public et expert) et concevoir des messages de prévention adaptés aux croyances. Dans le cas des nanomatériaux, cette question de la perception des risques est compliquée du fait de l'incertitude des effets des nanomatériaux sur la santé. Comment cette incertitude joue-t-elle sur la perception des risques pour les experts et les profanes ? Les études sur le sujet sont controversées avec des résultats contradictoires. Par exemple, une étude traitant plus spécifiquement du risque pour la santé (notamment inhalation de nanoparticules) pour le public et les travailleurs, indique que les experts perçoivent plus les risques que le public (Scheufele et al., 2007 ; Cheng et al., 2009). Dans le cadre d'une étude sur bénéfices et risques des nanomatériaux dans l'alimentaire, Siegrist et al. montrent des résultats inverses : les profanes ont un niveau de risque perçu plus élevé que les experts. Cette perception pour les profanes est influencée par la confiance, les avantages perçus, et les attitudes générales à l'égard de la technologie, alors que pour les experts, elle est davantage influencée par la confiance dans les agences gouvernementales.

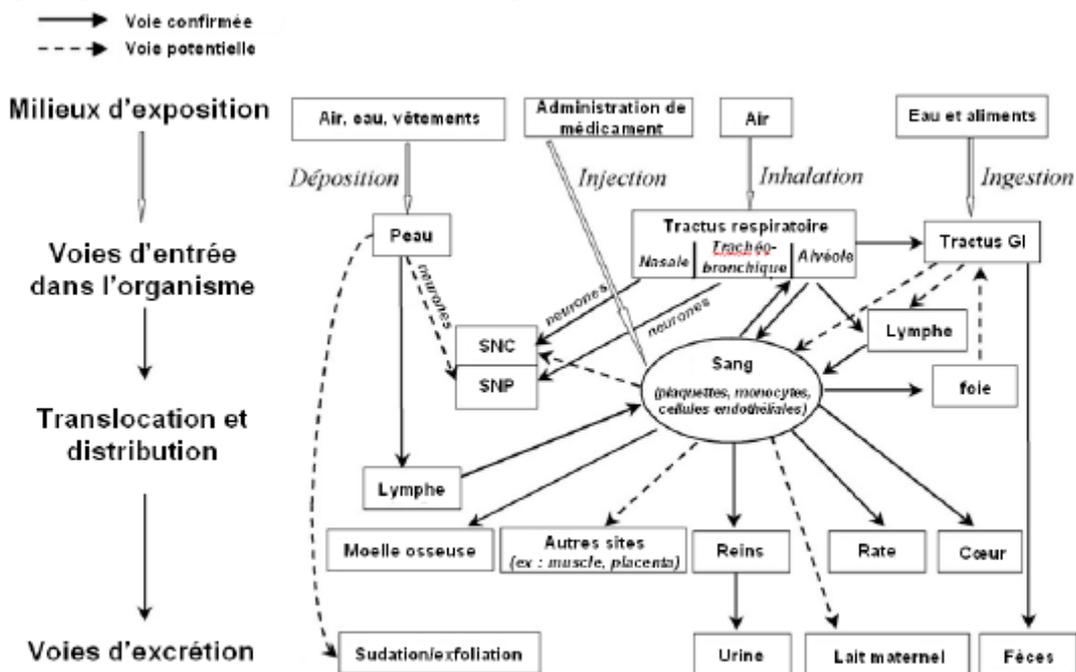
Il semble impossible de dégager des régularités dans le modèle des risques liés aux nanomatériaux. L'évaluation des risques pour un expert et un novice semble dépendre du contexte des nanomatériaux dans lequel se construit la perception du risque, mais nous pensons aussi que l'action possible de l'acteur sur l'incertitude et ses propres caractéristiques dans l'activité sont importantes à considérer. Par exemple, les risques issus de l'industrie (produits chimiques, nucléaire, pesticides, OGM, produits alimentaires, pollution environnementale) sont jugés plus importants par les femmes que les hommes selon l'enquête PERPLEX de l'IRSN (et autres partenaires) de juillet 2006 (échantillon 1978 personnes, dont la moitié femmes et l'autre moitié hommes). Cette différence apparaît aussi bien dans le public que dans une population d'experts. Mais ici rien n'est dit de leur connaissance des risques, sur leurs expositions potentielles, et encore moins de l'activité qu'ils réalisent dans leur situation de travail ou leur sphère domestique.

La plupart des études sur la perception des risques liés aux nanomatériaux ne sont pas assez précises sur les pratiques réelles des salariés dans leur travail et leurs stratégies de prudence pour se protéger de risques potentiels liés aux nanomatériaux. Les études s'appuient en général sur des enquêtes empruntant à des méthodologies quantitatives sur la base de questionnaires. Ces études tendent à insister sur la prise en compte dans la perception du risque de la gouvernance des risques liés à des nanomatériaux mais ne décrivent pas de façon fine les relations dans l'entreprise entre les salariés, les représentants du personnel, les spécialistes de la prévention, ni même le rapport au risque du salarié dans ses activités de travail, qui pourrait jouer un rôle important dans la perception des risques et la gestion de l'incertitude.

1.2. Des controverses scientifiques sur les effets des nanomatériaux sur la santé

Toutes ces questions ou représentations portées par le public posent aujourd'hui la question du rôle de la société civile dans la gouvernance des risques. On observe plus particulièrement un changement de paradigme sur la gestion de l'incertitude, où la société interroge les industriels et les politiques. La prise en compte de phénomènes d'endogénéisation du débat public dans les entreprises ou laboratoires de recherche est à prendre en considération. On constate que le débats publics français est parfois internalisé dans les entreprises ou laboratoires, par les salariés eux-mêmes, et le fait que ce débat public « rentre » dans l'entreprise produit des effets internes, des passages à l'action, en matière de prévention par exemple (Skaiky, 2010). Même si l'organisation de débat public en France reste difficile, le public demande à être mieux informé et davantage consulté (Lacour, 2009), notamment depuis les précédents de l'amiante et des Organismes Génétiquement Modifiés (OGM). Dans le cas des nanomatériaux, l'incertitude sur les risques n'est pas seulement cantonné aux travailleurs de l'entreprises, elle touche aussi la sphère domestique et public, comme d'autres risques (exemple, exposition à des agents chimiques, ou radiation par onde électromagnétique). Nous détaillerons dans ce chapitre les controverses scientifiques sur les effets des nanomatériaux sur la santé.

Les connaissances sur la toxicité des nanomatériaux montrent au travers de nombreuses études toxicologiques que certains nano-objets ont des effets toxiques plus importants que les mêmes objets à l'échelle micro- ou macroscopique, notamment du fait de leur taille, leur réactivité de surface ou encore leur bio-persistance (INRS, 2012 ; Gaffet, 2011). Les nanoparticules inhalées ou ingérées peuvent franchir certaines barrières biologiques (nasale, bronchique, alvéolaire, cutanée) et migrer vers différents sites de l'organisme via le sang et la lymphe (processus de translocation) (cf. figure 1).



Source : traduit de (Oberdörster, Maynard et al. 2005)

Figure 1 : Biocinétique des nanoparticules - ANSES (2014, p.41)

Si les connaissances sur la nanotoxicité sont en cours de construction, les controverses existent sur les effets des nanomatériaux sur la santé pour plusieurs raisons :

- Les études pratiquées sont essentiellement réalisées in vitro ou in vivo sur des rats et leurs transpositions à l'homme posent des questions ;
- Les études sont spécialisées sur certains types de nanomatériaux (par exemple TiO₂, nanotubes de carbone, etc.). Or dans la réalité, l'usage des nanomatériaux correspond à des mélanges de poudres ou des matériaux pris dans une structure. Plus exactement, les phénomènes rapides d'agglomération des nanoparticules peuvent rendre difficile la prévision de leurs comportements dans l'air mais également dans l'organisme. De plus leurs propriétés se modifient selon le process utilisé, le cycle de vie et le média sur lequel les nanomatériaux sont incorporés ;
- Les nanoparticules manufacturées se trouvent dans l'ambiance atmosphérique avec des nanoparticules naturelles, qui créent un bruit de fond, parfois très important, rendant difficile l'évaluation des expositions.

Aujourd'hui, les stratégies de mesures d'exposition aux nanomatériaux sont en cours de construction. En effet, *« en ce qui concerne les nanoparticules et nanomatériaux, il s'avère que la masse est un élément de caractérisation si ce n'est totalement inutile pour le moins grandement insuffisant. Les effets de taille, de forme et de surface (...) comptent en effet bien autant que la masse dans l'évaluation d'une particule à cette échelle »* (Lacour, 2009).

En 2008, la norme ISO/TS 27687 évolue vers une définition élargie : *« la nanotechnologie est la compréhension et le contrôle de la matière et des processus à l'échelle nanométrique, typiquement, mais non exclusivement, au-dessous de 100 nanomètres, dans une ou plusieurs dimensions quand l'apparition de phénomènes liés à la dimension permet en général de nouvelles applications »* (AFNOR, 2008). En octobre 2011, la commission européenne a quant à elle rendu publique sa définition des nanomatériaux : *« un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimensions externes se situant entre 1 nm et 100 nm »*, excluant ainsi les nanoparticules supérieures à 100 nm, particules pouvant pourtant présenter des risques pour la santé ou l'environnement. En France, dans le cadre du décret relatif à la déclaration annuelle des nanomatériaux, le terme de « substances à l'état nanoparticulaire » est préféré. La recherche d'une harmonisation dans les définitions est pourtant nécessaire à la fois pour la régulation de la fabrication et de la manipulation des nanomatériaux et pour mieux caractériser les expositions possibles.

Il n'existe actuellement pas de réglementation spécifique applicable aux nanomatériaux, seulement des bonnes pratiques (IRSST, 2014 ; Ponce Del Castillo ETUI, 2013 ; UIC, 2009). Les nanomatériaux étant des substances chimiques, les règles relatives à la prévention du risque chimique sont pour l'instant celles qui sont appliquées. Par exemple, les nanoparticules à l'état de poudre présentent plus de risque que si elles sont dans un état liquide. Les nanoparticules insérées dans une structure ne comportent a priori pas de risque. La manipulation de poudre doit se réaliser sous une hotte comme pour les produits chimiques CMR. Mais la mise en œuvre de ces règles issues de la prévention des risques chimiques ou de bonnes pratiques émergentes pour les nanomatériaux pose les mêmes questions sur les modèles d'évaluation et de gestion des risques, sur les méthodes de caractérisation et de mesurage des expositions professionnelles, que l'on rencontre dans le risque chimique : problème des valeurs limites d'exposition (est-ce le bon seuil ?), invisibilité du produit pour le salarié rendant difficile la perception du risque, problème de l'efficacité des EPI. Ce qui

pourrait différencier la prévention des risques liés aux nanomatériaux de celle des risques chimiques est que les propriétés des nanomatériaux rendent plus invisible le risque ou plus incertaine la prise de risque du fait de sa nouveauté.

Les méthodes existantes pour mesurer le risque lié aux nanomatériaux sont :

- la caractérisation des propriétés de nanotechnologies (taille, forme, type) qui emprunte à la métrologie physique et à la toxicologie (ANSES 2015) ;
- les études menées *in vitro* ou *in vivo* (sur des rats ou des poissons). Elles tentent de montrer le lien entre les expositions et les dommages sur le cerveau, le rein, les poumons ou d'autres organes mais les résultats de ces études en laboratoire sont parfois contradictoires sur les facteurs déterminants du fait de la réactivité variable des nanomatériaux en termes de surface, de volume, de composition chimique et d'agrégation des particules ;
- d'autres méthodologies fondées sur une évaluation qualitative de gestion graduée des risques, qui consistent à associer chaque nanomatériau produit ou utilisé à une bande de maîtrise de risque (« control banding ») définie en fonction d'une bande de danger et d'un potentiel d'émission (ANSES, 2010). Ces méthodes permettent de prendre des décisions sur des mesures de prévention à implanter sans avoir toutes les informations sur les dangers et les expositions. Cependant, le recours à cette méthodologie nécessite une expertise reconnue dans le domaine de la prévention des risques chimiques ;
- l'approche Safe by design est prônée actuellement comme une autre voie à l'approche au cas par cas (Maynard et al., 2006 ; Revue environnement et Technique, 2013 ; Book of abstracts of congress Nanosafe 2014). Il s'agit de limiter les risques des nanomatériaux dès la conception des produits de type nanomatériau ou la conception du process de fabrication et de manipulation des nanomatériaux. Ainsi il est proposé de concevoir, dès les premières étapes de l'élaboration et de la mise en œuvre, des nanoparticules ou des nanoproducts présentant le moins de risques possibles pour la santé de l'homme et l'environnement. Il s'agit donc d'intégrer la maîtrise des risques des nanomatériaux dès l'élaboration, la mise en œuvre, ou encore la conception / le design. Il s'agit de prendre en compte le SAFER : S pour « size, surface and structure », A pour « Alternative materials », F pour « Functionalization », E pour « Encapsulation » et R pour « Reduce the quantity » (Morose, 2010) et de permettre un développement industriel responsable et durable, encore appelé « safer by design » ou « safer by process », prenant en compte les propriétés spécifiques des nanomatériaux et de leur évolution tout au long de leur cycle de vie.

Cependant ces différentes approches pour évaluer le risque lié aux nanomatériaux et concevoir la prévention tiennent faiblement compte de la compréhension de l'activité réelle de travail, qui nous intéresse et que prônent l'ergotoxicologie (Garrigou, 2011) et l'ergonomie de conception. Contrairement à ces dernières, elles se caractérisent par une absence de prise en compte de l'activité de travail, voire du travail.

Elles ne tiennent pas compte non plus du fait que la prévention ne se construit pas seulement sur une approche probabiliste et rationnelle fondée sur les relations quantifiées entre niveaux d'exposition et effets pathologiques. En sciences sociales, les principes qui guident l'action et les décisions de prévention relèvent de la gouvernance des risques. Ils s'inscrivent dans les stratégies politiques, les intérêts des industriels et le débat public. La prise en compte des risques par la société et sa présence dans le débat politique et public viennent interférer de plus en plus dans les pratiques des travailleurs et notamment dans le travail des scientifiques en laboratoire (Jouvenet, 2011, 2012). La définition des nanomatériaux par rapport à une

échelle nanométrique correspond plus à une construction sociale (Vinck, 2009) qu'à une science exacte, d'autant que le comportement de chaque nanomatériau est variable et ne dépend pas seulement de sa taille et de sa forme.

1.3. Les questions de la prévention des risques professionnels liés aux nanomatériaux

Dans ce chapitre, nous souhaitons mieux identifier les questions portant sur la prévention des risques professionnels dans un contexte de controverse sur les effets de nanomatériaux sur la santé des risques, notamment sur les contradictions possibles entre principe de précaution et rapport à l'incertitude et les interrogations des entreprises qui font émerger des demandes d'intervention sur le terrain.

1.3.1. Les contradictions du principe de précaution dans un contexte d'incertitude

Le principe de précaution qui engage les pouvoirs publics s'applique, de manière générale, dans les contextes où « *l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable* » (Loi Barnier 95-101, 1995).

L'affirmation d'un principe de précaution dans la société du risque (Beck, 1992) est une façon de lutter contre les menaces (OGM, biotechnologies, nanotechnologies, etc.) en utilisant dans le débat une rationalité scientifique face à l'incertitude. Le calcul est au fondement des modèles de rationalité technique et scientifique face à l'incertain. Il s'appuie sur l'économie, qui distingue le risque et l'incertitude : le risque est mesurable tandis que l'incertitude repose sur des croyances et des attitudes dont l'occurrence est difficilement vérifiable. Les calculs élaborés dans une logique déterministe tentent de prouver le lien entre les expositions et les effets pour proposer des recommandations. Or dans le cas des nanoparticules, les caractéristiques des nanomatériaux rendent difficiles l'évaluation des risques ou la recherche de valeurs seuil pour garantir une protection (Drais, 2009). Sans compter que même si cela était possible, il n'est pas évident que les connaissances produites puissent définir précisément les niveaux de risques aux nanomatériaux. En situation d'information imparfaite, les décisions face aux risques potentiels des nanoparticules ne peuvent suivre des principes de rationalité. Autrement dit, la rationalité limitée amène à des décisions négociées, contextuées, subjectives, qui ne sont que le reflet de processus collectifs de décision. Les biais sociaux, cognitifs et psychologiques sont nombreux et comme nous le montrent les recherches en psychologie et en sociologie, les attitudes et les croyances des individus et des acteurs influencent la perception des risques dans un contexte social donné.

Certaines décisions des décideurs politiques et industriels sur les actions à mener dans le sens de la protection de la santé ne sont pas établies sur des connaissances scientifiques établies. Le principe de précaution appliqué aux risques des nanomatériaux invite pourtant à procéder à des « itérations entre action et connaissance et de se soucier de façon précoce des risques hypothétiques de dommages graves afin de les prévenir. Il n'impose aucunement ni d'arrêter des développements en cours, ni de devenir précautionneux, mais seulement de se pencher de façon précoce sur les risques potentiels » (Vinck, 2009). Dans ce sens, le principe de précaution est une reconnaissance d'un déficit de connaissance temporaire, permettant de maintenir le développement de ces connaissances et de l'activité, tout en adoptant certaines mesures visant à se prémunir d'éventuelles atteintes à la santé humaine. La précaution est, selon Peretti-Watel (2003), inséparable d'un effort visant à produire de nouvelles

connaissances, qui devront permettre à terme de basculer à nouveau dans l'univers risqué et la prévention.

Le cadre théorique de la gestion de l'incertitude, qui intéresse l'ergonomie et la sociologie dans les processus de prise de décision, nous semble particulièrement important à mobiliser sur les questions que posent les nanomatériaux dans la prévention professionnelle des risques, notamment sur le rôle de l'incertitude dans la construction du problème, en particulier l'identification des risques de nanomatériaux.

Les travaux de l'ergonomie cognitive dans l'analyse des activités de planification dans les environnements dynamiques (Hoc, Mebarki et Cegarra, 2004) montrent qu'une façon de gérer l'incertitude dans la prise de décision relève de stratégies visant sa réduction. Il peut s'agir de prendre des décisions précises à court terme et de moins en moins précises à long terme. Les opérateurs peuvent également simuler mentalement le déroulement de la situation pour se construire une représentation de l'état futur, même si cela peut impliquer un coût cognitif important (Cegarra & Hoc, 2008). La réduction peut être menée simplement par la recherche d'informations complémentaires.

L'absence ou l'ambiguïté des informations, les objectifs contradictoires et l'incapacité de pouvoir mesurer les conséquences liées à une prise de décision sont des sources d'incertitude. Endsley & Jones (2004) ont identifié quatre niveaux possibles d'incertitude : 1/ Incertitude portant sur les données : manque d'information, crédibilité d'information, incongruence/conflict de l'information, mise à jour des données, ambiguïté des données ; 2/ Incertitude portant sur la compréhension de la situation ; 3/ Incertitude portant sur l'état futur (projection), 4/ Incertitude portant sur les conséquences de sa décision. Dans le cas de nanomatériaux, il nous semble que l'incertitude relève principalement des premier et deuxième niveaux, à savoir manque d'information et de compréhension de la situation.

D'autres stratégies de gestion de l'incertitude ont été décrites par (Lipshitz et Strauss, 1997) :

- *Raisonnement à partir d'une hypothèse.* L'opérateur réalise un choix parmi plusieurs options. Par exemple dans le pilotage d'avions de chasse, en cas d'incertitude, le pilote peut prendre l'hypothèse la plus défavorable (Cohen, Tolcott & McIntyre, 1987).
- *Peser le pour et le contre.* Dans le cas où plusieurs solutions sont envisageables, un opérateur peut essayer d'évaluer les solutions. Les sujets privilégient généralement les solutions qui minimisent par la suite l'incertitude (Bruner, Goodnow et Austin, 1953).
- *Préparation.* Les opérateurs peuvent considérer l'événement incertain comme s'il pouvait réellement se réaliser et se préparer à la situation en conséquence. Il s'agit, par exemple, des anesthésistes qui anticipent les événements indésirables au bloc et organisent l'opération avec le chirurgien en fonction de ces événements potentiels (Xiao, Milgram & Doyle, 1997, Cuvelier, 2013).
- *Suppression.* Une dernière stratégie consiste à ignorer l'incertitude. Il peut également s'agir de l'occurrence d'un événement qui peut être ignorée, notamment si les conséquences sont récupérables.

Toutes ces stratégies sont intéressantes à explorer dans l'analyse de nos résultats mais il n'est pas évident que les travailleurs et travailleuses perçoivent le risque et donc l'incertitude entre les expositions et les effets sur leur santé. Nous regarderons néanmoins quand ils ont le sentiment d'incertitude sur le risque lié aux nanomatériaux, la façon dont ils développent dans leurs pratiques professionnelles, des moyens ou des stratégies pour réduire cette incertitude.

Gasser, Fischer et Wäfler (2011) ont répertorié plusieurs variables qui pouvaient jouer un rôle sur la gestion de l'incertitude : l'expertise, la pression temporelle, l'impact émotionnel, l'ambiguïté ou l'incompatibilité des différents objectifs, le manque partiel ou l'absence de certaines informations et enfin la difficulté de mesurer les risques liés à la prise d'une décision.

Il nous semble important maintenant pour préciser notre problématique de recherche de partir des questions posées par les entreprises sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux pour comprendre la « fabrication sociale » de ce risque.

1.3.2. Les interrogations et les demandes des entreprises

Une majorité d'entreprises rapporte le manque d'information comme un obstacle à la mise en œuvre de la santé et la sécurité, et ne prennent pas en compte les documents gouvernementaux pourtant disponibles (Engeman et al., 2012).

Nous avons recueilli plusieurs questions posées par les industriels au fil de nos rencontres avec eux :

- Les nouveaux matériaux utilisés dans les produits sont-ils des nanomatériaux (difficulté de la traçabilité sur les produits des fournisseurs et pas de réglementation sur l'étiquetage) ?
- Si oui, comment les caractériser (appel à des experts) ?
- La forme des produits (liquide, incorporé dans une matrice) comporte-t-elle des risques ?
- Comment séparer l'impact des nanoparticules naturelles de celles industrialisées (L'ambiance atmosphérique comportant des nanoparticules naturelles crée un brouillard) □
- Quels sont les impacts des produits nanomatériaux manufacturés ou manipulés sur la santé ?
- Comment protéger les salariés ?
- Les équipements de protection collective ou individuelle existants sont-ils efficaces ?
- Quelle est ma responsabilité en tant qu'employeur dans un contexte d'incertitude ?

Face à ces questions, les attitudes des industriels sont variables. Cependant elles relèvent plutôt de la crainte à s'engager dans une démarche de prévention tant que les connaissances sur le risque ne sont pas plus stabilisées. Autrement dit il n'y a pas de consensus dans les entreprises sur l'action ou les stratégies de gestion de l'incertitude. Les entreprises sont sensibles aux questions posées par les salariés, aux attentes sociétales (en termes de valeurs et y compris aux aspects commerciaux) et sont plutôt démunies sur la façon de poser le problème avant même de se poser la question de le gérer. Plusieurs explications données par les entreprises peuvent être reprises ici pour rendre compte de leur crainte à poser le problème :

- Des contextes économiques difficiles rendent impossible l'engagement de l'entreprise sur des missions de prévention, jugées secondaires.
- Les mesures d'exposition indiquent de faibles doses et l'entreprise ne s'engage pas face à un risque jugé faible.
- Les mesures indiquent un risque potentiel et l'entreprise tend à évoluer vers une situation de déni du risque.
- Le manque de connaissances scientifiques en toxicologie sur les expositions et leurs effets sur la santé n'incite pas les entreprises à agir en prévention. Les services de

prévention ont un temps et des moyens limités en prévention et préfèrent se concentrer sur les risques représentant déjà un coût pour l'entreprise, ce qui légitime souvent leur action auprès de l'employeur.

- La crainte du côté des directions d'entreprise de déclencher des peurs et des réactions émotionnelles non maîtrisables de la part des salariés (droit de retrait, conflit social,...) peut engendrer des difficultés sur la production ou gêner l'innovation. Le rapport coût/bénéfice tend plutôt l'entreprise à ne pas mettre en exergue le risque potentiel des nanomatériaux.
- La plupart des salariés ne savent pas qu'ils utilisent des nanomatériaux dans les procédés de fabrication ou ne connaissent pas les risques encourus liés à la manipulation de ces produits. En l'absence de connaissances des salariés, les entreprises ne sont pas interpellées, ni amenées à se positionner sur des moyens à mettre en œuvre sur ce risque.

Ces premiers retours du terrain nous indiquent que nous sommes encore très loin d'une construction sociale du problème du risque lié aux nanomatériaux dans les entreprises, notamment dans les relations d'échange entre les employeurs et les salariés.

Un exercice de prospective mené par l'INRS en 2014 (cf. INRS HST 2015) permet de dégager quatre scénarios possibles dans le futur sur les risques liés aux nanomatériaux et les positionnements possibles des entreprises et des politiques dans la gestion de la prévention de ces risques :

- *Hypothèse 1: Survenue d'effets sanitaires graves non anticipés*

Cette hypothèse suppose une faible prédictivité des outils relatifs à l'évaluation des dangers (santé) et des expositions (mesure). Certains nanomatériaux (très répandus ou relargage accidentel) dont les dangers potentiels auront été sous-évalués ou ignorés induisent au terme de plusieurs années la survenue d'effets sanitaires et environnementaux graves et très médiatisés (scénario « Amiante »). Dans ce scénario, il y aura développement de la construction de la connaissance sur les effets des nanomatériaux sur la santé et la recherche d'une maîtrise des risques.

- *Hypothèse 2: Les effets sur la santé ne sont pas spécifiques par rapport aux autres agents chimiques (pas de crise)*

Cette hypothèse suppose une bonne prédictivité des outils relatifs à l'évaluation des dangers (santé) et des expositions (mesure). Les risques sanitaires, évalués a priori (avant commercialisation) sont établis comme très différents d'un nanomatériau à l'autre et, globalement, les nanomatériaux ne représentent pas un risque global pour la santé ou l'environnement spécifiquement plus élevé par rapport aux autres agents chimiques. Chaque nanomatériau se place entre les intervalles d'un continuum d'effets anticipés par la recherche en toxicologie : du plus grave au plus « anodin ». Dans ce scénario, il pourra y avoir des prises de positions de la société civile et l'entreprise se placera dans une approche techniciste des risques.

- *Hypothèse 3: Des effets sanitaires éventuels sans crise déclarée*

Restrictions catégorielles de l'usage de certains nanomatériaux utilisés au plus près du consommateur (alimentation, cosmétique) car, même en l'absence d'effets sur la santé objectivés, il aura été prouvé que ces nanomatériaux se diffusent dans l'organisme et s'y accumulent. Dans ce scénario, il pourrait y avoir un désengagement de l'Etat et une prise en charge des risques par les industriels avec des développements spécifiques des nanomatériaux selon les secteurs d'activité.

- *Hypothèse 4: Les risques sanitaires restent difficilement évaluables*

Actuellement, l'écart de connaissances entre le progrès technologique et la recherche en nanosécurité est estimé à 10-20 ans. En effet, les recherches visent essentiellement à

développer de nouveaux nanomatériaux et nanotechnologies, alors que les moyens alloués (tous secteurs confondus, public ou privé) aux recherches sur leurs effets potentiels sur la santé sont insuffisants. Dans le cas où n'émergerait pas d'outil à haut débit d'évaluation des dangers (toxicologie...), cet écart se maintiendra ou sera susceptible de croître. Dans ce scénario, il pourrait y avoir une gestion plus ou moins maîtrisée des risques suivant un développement régionalisé selon l'allocation de moyens sur le territoire, avec de fortes disparités selon la taille de l'entreprise (groupe versus PME).

Dans ces différentes hypothèses des scénarios futurs de la production des nanomatériaux et de la gestion des risques, il apparaît que les questions de prévention restent relativement fragiles. Il reste encore beaucoup de choses à comprendre sur l'exposition au risque, le cycle de vie des produits, etc. Il apparaît néanmoins que « plus l'incertitude est grande, plus elle doit être débattue » comme le disait William DAB à la journée de l'INRS en 2014 (cf. INRS HST 2015).

2. Problématique de la prévention des risques liés aux nanomatériaux : entre perception et gestion du risque, une question d'activité de travail à débattre

Les questions en sciences sociales sur les risques liés aux nanomatériaux, tant du côté de la société civile, que de leurs effets controversés sur la santé et enfin de la prévention professionnelle de ce risque, nous ont amenés à définir la problématique de cette recherche autour de l'interaction entre la perception et la gestion des risques. La production de connaissances dans ce domaine s'oriente principalement autour de deux axes d'étude :

- L'action transforme les représentations.
- Les représentations sont le résultat d'une construction sociale et de régulations entre les acteurs (direction, préventeur, opérateur) sur la prévention des risques professionnels.

Ces études s'inscrivent plus exactement dans la problématique de mise en visibilité et en débat de l'activité réelle de travail, pour amener les acteurs à prendre conscience des risques potentiellement encourus et à se poser des questions sur les moyens d'y faire face du point de vue de l'efficacité du travail et de la préservation de la santé. L'approche ergonomique du travail a l'intérêt de poser la question du travail dans la sécurité gérée, en l'absence de sécurité réglée stabilisée dans le monde des risques liés aux nanomatériaux. Les pratiques réelles de gestion de la sécurité et de la santé sont à saisir en fonction des contextes de travail, des métiers, des collectifs de travail et des conditions de réalisation du travail.

Deux hypothèses principales structurent ce projet :

1/ L'approche des risques liés aux nanomatériaux ne se réduit pas à un « modèle » général de risque comme le laissent à penser la majorité des recommandations au début de la recherche. Au contraire, plusieurs « modèles » s'agencent et cohabitent suivant les nanomatériaux considérés, les secteurs d'activité et les acteurs en présence (chercheurs, préventeurs, utilisateurs, politiques, etc.).

2/ Les dispositifs de prévention se construisent et se recombinent régulièrement, au gré de l'intervention des divers acteurs ; le débat et la discussion sur le travail, ses risques potentiels permettent de construire des connaissances sur les risques, d'innover dans l'élaboration d'outils techniques et de construire des actions de prévention.

Nos hypothèses opérationnelles orientées vers la compréhension de l'activité réelle de travail et sa mise en débat dans la conduite de projet de prévention des risques liés aux nanomatériaux sont les suivantes :

1/ La perception des risques liés aux nanomatériaux est différente selon le métier, le genre et l'ancienneté. Cette hypothèse sera explorée essentiellement dans le secteur des laboratoires, notamment à partir de l'analyse d'une trentaine d'entretiens avec des chimistes et des physiciens, de sexe et d'anciennetés variés. Plus exactement, les chimistes ont une perception des risques liés aux nanomatériaux accrue par rapport aux physiciens, les femmes plus que les hommes, les jeunes plus que les anciens. Cette hypothèse s'appuie sur les théories de la perception des risques et des stratégies de prudence. Mais nous souhaiterions démontrer à travers nos résultats que ces différences de perception des risques liés à la variabilité inter-individuelle, ne sont pas seulement liées aux caractéristiques de la population, mais plutôt aux assignations à des tâches ou des postes différents selon la variabilité, c'est-à-dire à des activités différentes, avec des expositions potentielles différentes.

2/ Les espaces de discussion sur le travail réel sont des instruments pour transformer les représentations du risque lié aux nanomatériaux. Cette hypothèse² sera explorée dans le milieu industriel, notamment en s'appuyant sur les résultats d'intervention dans deux entreprises. Plus exactement, plus les opérateurs échangent entre eux sur les difficultés rencontrées dans l'activité réelle, plus les interrogations liées aux risques des nanomatériaux sont nombreuses, plus elles participent à faire évoluer les représentations, voire à davantage partager des représentations communes des risques. Cette hypothèse s'appuie sur les théories de l'activité, de l'activité collective et notamment le triptyque entre « pouvoir penser, pouvoir agir, pouvoir débattre » que l'on retrouve dans les espaces de discussion sur le travail. Les limitations de l'action entraînent des limitations de la pensée, le changement de représentation n'est donc pas suffisant pour agir, tout comme l'absence de débat sur le travail réel empêche l'ouverture de marges de manœuvre des acteurs sur l'action.

Ces deux hypothèses opérationnelles seront discutées en fonction des résultats produits et seront mises en perspective pour la recherche, notamment sur la façon de concevoir la prévention des risques liés aux nanomatériaux dans un contexte d'innovation et d'incertitude. Dans cette conception, l'intervention en prévention des risques professionnels n'est pas à envisager comme la réponse à un problème (produisant un diagnostic et des recommandations, classiquement décrites en ergonomie dans *comprendre le travail pour le transformer*) mais plutôt comme une conduite de projet (qui part de la volonté de changement et s'appuie notamment sur la simulation de l'activité future). Cette discussion vise à réinterroger les apports théoriques de la conduite de changement avec des démarches participatives en ergonomie et dans les disciplines voisines (sociologie, psychologie) par rapport à un risque émergent, ici la prévention des risques liés aux nanomatériaux.

² Cette hypothèse fait référence et s'appuie sur les travaux de doctorat de Rouani Rocha (2014), directeur François Daniellou

3. Cadre théorique sur la perception des risques, l'activité et les espaces de débat

Le cadre théorique de cette recherche portant sur la problématique des liens entre perception et gestion des risques du point de vue de l'activité, s'appuie sur trois concepts fondamentaux : les stratégies de prudence et la perception des risques ; la théorie de l'activité et l'activité collective ; la conduite de projet de changement et les espaces de débat. Ces différents concepts sont détaillés ci-dessous afin d'en préciser le cadre théorique, les modèles sous-jacents qui nous permettront dans la partie suivante de justifier de notre méthodologie de recherche et qui nous seront utiles pour analyser les résultats.

3.1. Les stratégies de prudence et la perception des risques

Dans une approche écologique de la sécurité, Faverge (1966) parle de pratiques de « sécurité informelle » et Cru (1995) avance la notion de « savoir-faire de prudence » qui se caractérise dans un métier par une sécurité au cœur même de la situation de travail. « La prise en compte de l'activité concrète de travail, avec sa part d'exposition au danger, la peur (...), la nécessité de contenir cette peur pour pouvoir y travailler durablement » (Cru, 1995, p.25) permet de comprendre comment les aspects relevant de la prise de risque par les opérateurs correspond aussi du point de vue des opérateurs à la « prise en main » de la situation professionnelle. Ainsi on comprend que la sécurité se construit dans l'action. L'opérateur dans la gestion d'activité à risque cherche à concilier la gestion des contraintes, l'adaptation aux variations et l'optimisation du fonctionnement du système (Valot, Weill-Fassina, Guyot, Amalberti, 1995). La gestion du risque se met aussi en jeu dans le collectif de travail, qui définit des règles de métier sur les façons et les manières d'accomplir les gestes techniques visant un travail de qualité, tout en préservant la santé (Caroly, 2010). Elle s'inscrit également dans un réseau social caractérisé par des articulations entre des régulations verticales (structurelles élaborées par l'encadrement) et des régulations horizontales (collaboration entre pairs pour faire face aux variabilités et aléas des situations) (De la Garza, Weill-Fassina, 2000). Les savoir-faire de prudence sont donc une construction individuelle et collective de la gestion de l'activité à risque.

L'approche psychologique des risques tend à comprendre le rôle des représentations et des croyances dans les comportements. On est ici assez éloigné d'une approche ergonomique des risques, mais cette approche peut être intéressante pour analyser une partie de nos résultats de recherche. La manière dont l'individu va percevoir une situation ou un environnement est en relation avec la façon dont il perçoit ses propres capacités à y faire face, avec ses valeurs, qui sont plus ou moins influencées par des normes sociales, et avec le sens qu'il donne à la situation. Dans un contexte d'incertitude sur des situations à risque, les croyances sont nombreuses et peuvent conduire à des biais cognitifs ou motivationnels dans la façon d'évaluer la situation et de se comporter (Kouabenan, 2007). Les croyances permettent de compenser l'absence d'explication rationnelle, de donner du sens aux événements, de faire des liens entre les événements et les possibilités de les contrer, de prévenir leurs effets néfastes et de retrouver un certain sens du contrôle (Kouabenan, 2009). Les croyances interviennent donc dans l'évaluation de sa propre exposition au risque et dans les décisions de s'en protéger ou non.

Dans cette approche psychologique de la perception des risques, R.Kouabenan, dans ses travaux de recherche, insiste sur deux dimensions à prendre en compte, à savoir :

- la structuration de la prise de risque selon les caractéristiques du risque lui-même : fréquence ou probabilité d'occurrence, potentiel de gravité, nature du risque, contrôlabilité, familiarité, utilité perçue, volontaire/subi, médiatisation ;
- la structuration de la prise de risque selon les caractéristiques du sujet percevant le risque : niveau d'expertise, variables sociodémographiques et psychologiques, normes sociales, degré de vulnérabilité au risque (soi, autrui, société), sentiment de contrôle et de compétences.

Dans notre recherche, il s'agira de comprendre comment l'action, c'est-à-dire les pratiques professionnelles de gestion des risques dans l'activité de travail, participe à la construction des représentations de risques et non l'inverse (c'est-à-dire la façon dont les perceptions et les croyances influencent l'action). Mais nous sommes intéressés par le « rapport sensible au travail » (Böhle & Milkau, 1998), notamment quand le conflit ou la dissonance cognitive sont présents dans la situation de travail et qu'il n'est pas possible pour l'opérateur d'agir conformément à ses représentations et qu'il est amené à une évolution de ses représentations visant à justifier ce qu'il est contraint de faire.

Nos résultats auront pour objectif de dévoiler les différentes formes de perception des risques selon les caractéristiques des travailleurs et des travailleuses, leurs stratégies de prudence qui sont en réalité plus liées à leur activité de travail qu'à leurs propres caractéristiques.

3.2. Théorie de l'activité et notion d'activité collective

L'ergonomie de l'activité est marquée de la distinction fondatrice entre travail réel et travail prescrit (Guérin et al, 1991 ; Falzon, 2004), qui se décline en un double niveau, la tâche et l'activité. La *tâche* est constituée par l'ensemble des objectifs plus ou moins prescrits, qui ont été définis par les organisateurs du travail, et qui sont assignés à la personne qui travaille. Pour une tâche donnée, des moyens techniques et organisationnels sont mis à la disposition des opérateurs. L'*activité* est la mobilisation de l'ensemble de la personne humaine et de ses facultés pour réaliser les tâches et les objectifs qu'elle se fixe à partir de ceux qui sont fixés, et ce en fonction des moyens techniques et organisationnels qui ont été mis à sa disposition. L'activité est toujours singulière et est l'œuvre d'inventivité (Wisner, 1995). Cette activité n'est pas neutre, elle engage et transforme en retour celui (ou celle) qui l'accomplit (Teiger, 1993).

L'opérateur met en œuvre des régulations pour faire face à des variations, des aléas ou des dysfonctionnements (variabilités des matières premières, des outils, des équipements, des clients) avec des conséquences de ces régulations sur la performance et la santé (Leplat, Cuny, 1977). L'observation ergonomique est indispensable pour accéder au travail réalisé, mais l'activité ne se résume pas à ce qui est visible et observable.

En effet, les évolutions du concept d'activité issu de l'ergonomie francophone ont été liées à la prise en compte de déterminants de plus en plus larges, dépassant les seuls déterminants de l'activité réalisée issue de l'observation (rôle des autres systèmes d'activité, de l'histoire du sujet et de la subjectivité, de l'expérience, etc.).

Le modèle de l'activité proposé par Nicole Vézina (2001) montre un ensemble de déterminants (conditions et moyens offerts par l'entreprise – dispositif technique, environnement, organisation du travail,... – ; exigences de la production – quantité, qualité, consignes, procédures – ; attentes des différents interlocuteurs – collègues, client,... –) qui joue

un rôle sur les possibilités de régulations de la personne en activité (physique, mentale, sociale) selon les marges de manœuvre dont elle dispose ou qu'elle a construites. Cette activité cherchant un équilibre entre performance et santé, qui n'est pas toujours simple à trouver, dépend des déterminants qui « *vont peser plus ou moins lourdement sur la personne en conditionnant l'importance de la marge de manœuvre dont elle disposera pour réguler son activité* » (p.47).

La résolution de conflits dans l'activité, les arbitrages réalisés entre différentes contraintes font partie ainsi de l'analyse de l'activité. L'*activité* est un processus complexe et dynamique dans lequel s'articulent plusieurs éléments (Weill-Fassin, 2016) :

- *l'ensemble des actions et des opérations* qu'une personne réalise pour accomplir les tâches requises dans une situation donnée : ce sont des actes extériorisés observables et des *activités mentales*, processus de traitement d'informations, de diagnostic, pronostic et prises de décision qu'il faut inférer de ce que le sujet fait et dit ;
- la manière dont le sujet *gère son état personnel* en termes de charge de travail, de fatigue, de stress et aussi de plaisir pris au travail ;
- la manière dont le sujet *organise son action* soit individuellement soit en interaction avec autrui, et la planifie dans *une diversité de temporalités* ;
- et aussi ce qu'il ne fait pas : « L'homme ne se manifeste pas seulement par ce qu'il fait, mais parfois et dans certaines circonstances surtout par *ce qu'il ne fait pas*. Tout le monde est d'accord sur ce fait que l'inhibition est elle-même une forme de mouvement, que l'absence de réponse aux sollicitations extérieures est elle-même une réponse, puisqu'en effet deux possibilités : réagir ou ne pas réagir, nous sont toujours offertes dans toutes les circonstances de la vie, là où la réponse à une excitation est consciemment dirigée. » (Korngold, Levi, 1933). Cette idée est développée par Clot (1999).

L'analyse de l'activité tentera d'articuler les dimensions systémiques, dynamiques, historiques et culturelles de cette activité. L'activité est finalisée par plusieurs buts entre trois pôles de l'activité : soi-objet-autrui (Weill-Fassin, Teiger, 1998 ; Clot, 1999). Un pôle « soi » est associé à l'opérateur avec ses propres buts, sa subjectivité, sa formation, son expérience, ses ressources physiologiques et psychologiques, le sens qu'il attribue à son travail. Un pôle « objet » réfère aux buts de l'entreprise et aux moyens disponibles (outils, matériels, équipements, règles, procédures, structure hiérarchique). Un pôle « autrui » correspond aux buts communs de l'équipe et aux outils élaborés collectivement, aux règles de métiers, au genre professionnel.

L'activité réelle correspond à des articulations entre activité individuelle et activité collective (Caroly, 2010). L'activité collective se caractérise par une articulation entre le travail collectif (modalités de concertation, de coordination dans le travail entre les membres d'un groupe ou d'une équipe, etc.) et le collectif de travail (partage sur les critères d'un travail de qualité, préservation de soi et d'autrui, règles de métier, etc.) (Caroly, 2010). Le travail collectif participe à l'élaboration du collectif de travail, notamment lors de la stabilité du groupe par les échanges de pratiques, la transmission de l'expérience, la réélaboration des règles dans l'action etc. En retour, le collectif de travail enrichit le travail collectif (plus efficace et plus efficient dans l'action).

Nos résultats visent à montrer que replacer l'activité de travail au cœur du processus d'intervention pour changer les représentations des risques et penser des actions de protection, de prévention du risque lié aux nanomatériaux, est essentiel. Il s'agit non seulement de rendre visible l'activité individuelle, mais aussi de créer des conditions de travail collectif qui

amènent à des débats sur le travail entre les travailleurs eux-mêmes et entre les travailleurs et leur direction ou représentants du personnel pour faire évoluer les dispositifs de prévention.

3.3. Les espaces de débat sur le travail et la conduite de projet

Pour que les acteurs soient eux-mêmes porteurs de changement dans l'activité, il est nécessaire dans l'intervention ergonomique de tenir le triptyque « pouvoir penser, pouvoir agir, pouvoir débattre » (Daniellou, 1998). Le pouvoir d'agir ici est indissociable du pouvoir penser et du pouvoir débattre. C'est en créant dans l'intervention des espaces de discussion sur le travail qu'il est possible de penser et d'agir. Il est nécessaire que le débat porte sur des situations concrètes de travail, définies dans le temps et dans l'espace, comportant un ensemble de déterminants et caractérisant des régulations individuelles et collectives pour faire face aux difficultés du travail. Les discussions peuvent ouvrir ainsi sur des espaces de réélaboration des règles (Caroly, 2010) et des possibilités de création de marges de manœuvre situationnelles (Coutarel et al., 2015).

Le rôle des espaces de débat est de permettre la circulation d'une parole sur le travail entre les acteurs de l'entreprise (Detchessar, 2013). Ces lieux, ces espaces de débat sur le travail, appelés « espaces de discussion » par Detchessahar (2011), sont, pour lui, des lieux d'arbitrages répétés entre les acteurs, de coordination de leur intelligence afin de produire des accords locaux et révisables permettant pour un temps de faire le travail. R. Rocha (2014) expérimente plusieurs espaces de débat dans l'organisation du travail entre salariés relevant de différents échelons de l'entreprise pour développer une culture de la sécurité. Pour pérenniser ces espaces de débat, il montre qu'il faut que les membres disposent d'un certain pouvoir d'agir pour régler certaines des situations débattues localement, et qu'ils puissent communiquer avec d'autres espaces lorsque les ressources locales s'avèrent insuffisantes. Ainsi, les espaces de débat ne doivent pas être isolés au sein des échelons hiérarchiques, mais doivent être interconnectés en vue de définir le pouvoir d'agir et l'autonomie de chacun d'entre eux.

Nos résultats testeront l'idée que dans le contexte d'innovation et d'incertitude que représente la gestion des nanomatériaux, les discussions entre les salariés ou les acteurs sur l'action (les pratiques professionnelles, les difficultés rencontrées dans les situations de travail) et leurs besoins d'aller chercher des connaissances sur la nanotoxicité, l'efficacité des dispositifs de protection, la réglementation, contribuent à transformer leurs représentations du risque lié aux nanomatériaux et à produire de nouvelles règles sur la façon de se protéger ou d'agir. Ce processus de transformation des stratégies d'action des opérateurs en règles d'action partagées entre les opérateurs et leur encadrement nous intéresse particulièrement dans le cas de la conception de dispositifs de prévention des nanomatériaux. Face à une prescription floue ou faible sur la sécurité dans un contexte d'incertitude, la conduite de projet dans ce domaine doit mettre à jour des créations de règles ou de procédures qui sont le résultats des échanges entre les salariés ou les acteurs, des processus de décisions face à l'incertitude et d'interactions sur la façon de concevoir des pratiques innovantes et sécuritaires.

La conduite de projet visant la conception de dispositifs de prévention des nanomatériaux dépasse les démarches classiques d'accompagnement des changements techniques et organisationnels, car il s'agit d'aider les acteurs à échanger sur des objets incertains du point de vue du risque (moyens de protection à inventer, connaissances à mobiliser), notamment à partir de simulation d'activité future ou d'expérimentation de nouvelles façons de travailler.

La construction d'un « objet commun » susceptible de mobiliser les acteurs sur la façon de concevoir la prévention apparaît un point essentiel de la mise en débat sur le travail et d'une démarche participative, visant l'appropriation des innovations techniques.

4. Méthodologie de la recherche-action

Les études de terrain sont dans la plupart des cas pluridisciplinaires : elles s'appuient sur des demandes d'entreprise et mobilisent une équipe en sciences humaines et toxicologie/métrologie afin de saisir la manière dont les acteurs posent la question des risques liés aux nanomatériaux et la façon dont ils se saisissent des résultats d'analyse pour débattre du travail et pour changer leur représentation des risques, et éventuellement pour mettre en place des moyens de prévention sur ce risque. Les premières questions posées par les entreprises sont de mieux caractériser les risques et pas nécessairement la question de la prévention des risques professionnels. Après la construction d'une méthodologie de caractérisation des risques liés aux nanomatériaux et la présentation de l'analyse des résultats, réalisée par les chercheurs en toxicologie/métrologie par l'INRS, nous leur proposons une approche en sciences humaines (équipe en ergonomie et sociologie) afin de mieux comprendre les perceptions de risques des salariés en lien avec leur activité de travail, voire de les accompagner, quand les acteurs de l'entreprise en font la demande, dans la conception d'un dispositif de prévention concernant la manipulation de produits nanomatériaux en lien avec les représentations et les activités des opérateurs, en prenant en compte le dispositif de prévention existant et le fonctionnement de l'entreprise.

4.1. Approche descriptive des pratiques de prévention ou démarche d'intervention ergonomique visant la prévention des risques liés aux nanomatériaux

Selon les demandes des entreprises, nous avons réalisé deux types d'approche en sciences humaines et sociales pour participer à l'élaboration de dispositifs de prévention des risques liés aux nanomatériaux dans les entreprises : l'analyse descriptive des pratiques professionnelles et des représentations des risques, l'intervention ergonomique fondée sur la conception de prévention.

Analyse descriptive rétrospective

A défaut de possibilité de réaliser beaucoup d'interventions sur le terrain, la méthodologie développée consiste à faire un état des lieux des actions mises en œuvre, jusqu'à présent, concernant la prévention des risques liés aux nanoparticules : identification des situations à risque, types de mesurage et caractérisation, nature des protections collectives et individuelles utilisées, formation et information sur les risques. Pour cela, il s'agit de retracer l'histoire des nanomatériaux dans l'entreprise et de situer cette question par rapport au dispositif de prévention existant et au fonctionnement de l'entreprise (logique de production, de qualité, etc.), ainsi que d'explorer la mobilisation des acteurs autour de la question des nanomatériaux et d'analyser les représentations du risque liés aux nanomatériaux. La méthodologie utilisée porte sur des entretiens semi-directifs avec différents acteurs de l'entreprise et des observations ouvertes de situations de travail pour comprendre l'activité de travail des salariés et leur perception des risques liés aux nanomatériaux.

Les questions posées sont les suivantes : Qui a en charge la prévention des risques liés aux nanoparticules dans l'entreprise (service médical, service de santé et sécurité, etc.) ? Quelles sont les activités des opérateurs et comment se représentent-ils les risques liés aux nanomatériaux ? Quels liens font-ils entre les risques liés aux nanomatériaux et les autres risques ? Comment le projet de prévention des nanomatériaux s'inscrit-il dans une cohérence avec les autres projets dans l'entreprise ?

Le guide d'entretien (cf. annexe 1) aborde les thèmes suivants : le parcours professionnel, le contexte de travail et le contenu des tâches, le modèle du risque lié aux nanomatériaux, les modalités de prévention des autres risques, les relations au sein de l'équipe, avec la hiérarchie et les acteurs de prévention. Chaque entretien est ensuite retranscrit et fait l'objet d'une analyse de contenu. Les unités d'analyse du discours sont les suivantes : caractéristiques sociodémographiques et professionnelles de l'interviewé, activité et actions sur les nanomatériaux, définition des nanomatériaux, perception du risque, déni du risque, stratégies de prudence, autrui, équipement, dispositif de prévention des risques, loi, santé, performance, innovation, organisation, citoyen.

Les observations ouvertes ont porté sur une compréhension des activités de travail du point de vue de la production, la maintenance des installations, la qualité, la santé en interaction avec les outils de travail et les relations avec les collègues ou l'encadrement.

Intervention ergonomique visant la conception d'un dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux

L'intervention débute par une analyse de la demande de l'entreprise et la construction d'une démarche d'intervention. Nous avons pu accompagner deux entreprises seulement.

Le déroulement des différentes étapes de l'intervention est schématisé dans la figure 2 ci-dessous.

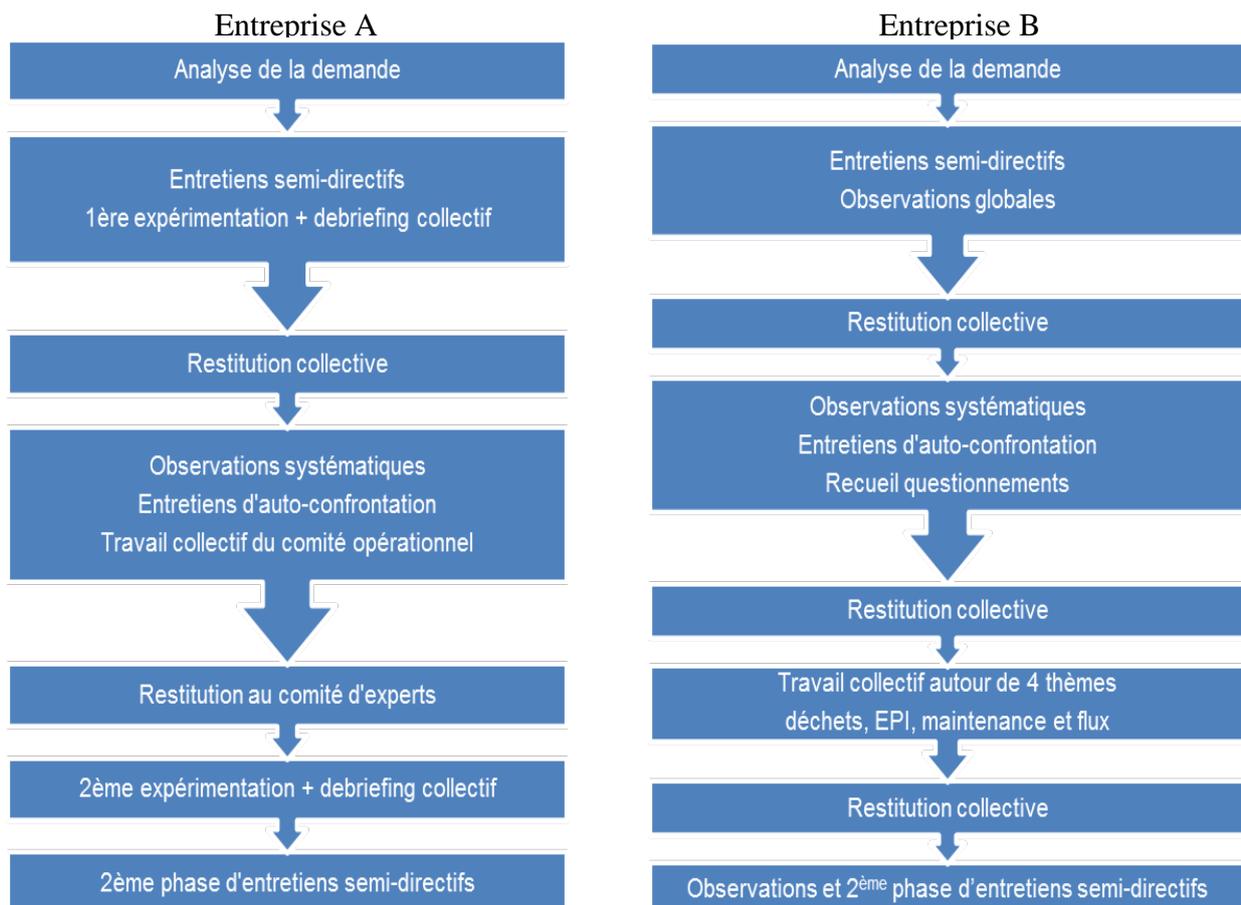


Figure 2 : Déroulement de l'intervention dans les 2 entreprises

4.2. Caractéristiques des données de terrains en entreprises industrielles et en laboratoires de recherche

Au total, nos données portent sur deux interventions en milieu industriel (entreprises A et B), et sur l'analyse descriptive des pratiques dans une entreprise industrielle (entreprise C) et quatre laboratoires de recherche (laboratoires A, B, C, D).

Voici le détail des entretiens, des observations, des restitutions réalisées selon les terrains investigués :

Entreprise A (intervention)

- 16 entretiens semi-directifs ont été menés auprès de différents acteurs de l'entreprise : responsable sécurité, membres du CHSCT, médecins du travail, animateurs/correspondants sécurité, toxicologue, responsables des laboratoires, agent de maîtrise, personnels du laboratoire ;
- 2 situations de simulation de produits nanostructurés ;
- 20h d'observations, soit 4,5 jours auprès de 4 opérateurs dans le laboratoire sur 6 phases d'activité, suivies d'entretien d'auto-confrontation avec chaque opérateur³ ;
- 2 restitutions collectives ;
- 9 entretiens semi-directifs post-intervention visant à évaluer le dispositif de prévention et les changements de représentations.

Entreprise B (intervention)

- 13 entretiens individuels semi-directifs ont été menés avec différents acteurs : responsable opérationnel, responsable montage projets, salariés de la plate-forme et responsables prévention de l'université ;
- 5 jours d'observation de 8 situations d'activité auprès de 12 opérateurs (cf. tableau 1) ;
- 4 groupes de travail se réunissant 4 à 5 fois ;
- 2 restitutions collectives.

Entreprise C (descriptif)

- 7 entretiens : salariés et responsables ;
- Visite des salles blanches ;
- 1 restitution.

Laboratoire A (descriptif)

- 7 entretiens : 3 postdoctorants, 1 technicien, 1 agent chargé de la mise en œuvre des règles d'hygiène et de sécurité, 1 Maître de conférences et 1 directeur de recherche ;
- Observation d'une journée (le matin et l'après-midi) du nettoyage d'un réacteur par un postdoctorant et un technicien.

³ L'observation de l'activité de travail et l'entretien d'auto-confrontation visent à comprendre les actions de l'opérateur et le sens qu'il en dégage. Les observations se réalisent sur le terrain avec le volontariat des personnes. La durée est variable selon les cycles de production et les différentes situations de travail à observer. Le recueil de traces de l'activité se réalise à l'aide d'un papier-crayon où sont notés systématiquement les comportements de l'opérateur, les actions en interface avec les produits utilisés, les instruments et les relations avec les collègues de travail. Il est possible aussi, avec autorisation, de réaliser des photos et des films qui faciliteront par la suite la discussion avec les protagonistes sur leur activité.

Type activité observée	Nb. opérateurs observés	Observation ouverte ou systématique (O/S)	Durée des observations
Pesée des poudres de nanotubes de carbone (NTC)	2	S	½ jr
Opération de dispersion des poudres de NTC dans un polymère	2 (ensemble)	S	½ jr
Réalisation de fibres – procédé filage à froid	2 (ensemble)	S	2 jrs
Nettoyage pilote filage à froid	2 (ensemble)	O	
Réalisation de fibres – procédé filage à chaud	1	S	½ jr
Production de granulés nanochargés	1	O	½ jr
Réalisation de dépôt par couche mince	1	O	½ jr
Département caractérisation et contrôle non destructif	1	O	½ jr

Tableau 1 : Synthèse des observations ouvertes et systématiques réalisées dans l'entreprise B

Laboratoire B (descriptif)

- 11 entretiens de chercheurs et 1 entretien avec le médecin de prévention ;
- 20h d'observation.

Laboratoire C (descriptif)

- 4 entretiens chercheurs + 1 entretien médecine de prévention ;
- 2h observation.

Laboratoire D (descriptif)

- 4 entretiens avec les chercheurs du laboratoire de toxicologie ;
- Visite des laboratoires et discussion avec les équipes de recherche.

Au total, nos résultats de recherche portent sur l'analyse de 66 entretiens semi-directifs, 14,5 jours d'observation ou visites, de 6 restitutions collectives, 2 simulations et 20 séances de travail collectif.

4.3. Des séminaires de recherche avec un comité d'expert en SPI et SHS

Notre équipe de recherche a fait régulièrement des séminaires de recherche pour discuter des possibilités d'intervenir dans des entreprises ou laboratoires, des résultats obtenus sur les terrains, des analyses, des ajustements nécessaires de la méthodologie et d'ouvrir sur d'autres perspectives. Nous avons fait en moyenne une réunion d'équipe SHS par mois (soit 33 réunions) et nous avons réalisé 3 séminaires SHS/SPI.

Par ailleurs, notre équipe s'est appuyée sur un comité d'experts en SPI et SHS pour étayer et enrichir l'analyse et le déroulement de la recherche. Ce comité était composé de : Christophe FERRE (CARSAT Rhône-Alpes), Eric GAFFET (CNRS Belfort), Alain GARRIGOU (IUT Bordeaux 1), Michael RIEDIKER (IST Suisse), Cécile OILLIC-TISSIER (CARSAT Alsace-Moselle), Dominique VINCK (UNIL). Nous avons fait 3 réunions du comité d'experts.

Enfin, une restitution élargie a été réalisée à l'INRS ainsi qu'un comité de thèse pour le doctorat de Catherine L'Allain.

5. Résultats : de la perception des risques à la conception d'une prévention des risques liés aux nanomatériaux fondée sur l'activité de travail

Nos méthodologies de recherche fondées sur une approche essentiellement qualitative combinant des données issues d'entretiens individuels, d'observation d'activité de travail, de simulation-expérimentation sur le travail futur, de discussion au sein de groupes de travail, nous permettent de produire des résultats sur la perception et la gestion des risques liés aux nanomatériaux en lien avec l'activité réelle de travail à quatre niveaux :

- la manière dont la perception des risques dépend des enjeux d'innovation, des pratiques professionnelles relatives au métier, et de l'usage des équipements ;
- la façon dont les femmes sont à l'origine des demandes d'intervention sur la prévention ;
- la conception d'une démarche de prévention basée sur l'articulation entre représentation et action ;
- le rôle des espaces de discussion portant sur le travail réel, sur la transformation des représentations du risque et la construction d'actions de prévention.

Nous détaillons dans chacun des paragraphes qui suivent ces quatre niveaux de résultats en précisant les objectifs recherchés par rapport aux réponses aux hypothèses, les connaissances produites et des mini-synthèses visant à préparer la discussion à la fin du rapport sur les perspectives scientifiques et pratiques visant des recommandations sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux.

5.1. Une perception du risque en laboratoire influencée par les enjeux d'innovation, les métiers et les équipements de travail

Dans l'objectif de montrer que la perception des risques liés aux nanomatériaux ne se réduit pas à une approche générale du risque, ou autrement dit à un modèle unique des causes du risque et de ses effets sur la santé des travailleurs, nos résultats porteront principalement sur l'analyse approfondie d'une trentaine d'entretiens avec des chimistes et physiciens, de sexe et d'ancienneté variés, de laboratoires de recherche publique pour mettre en évidence l'existence de plusieurs modèles de risques liés aux nanomatériaux. Ces modèles dépendent en grande partie du rapport à l'incertitude et l'innovation, des métiers occupés par les travailleurs et surtout des spécificités de leur activité de travail par rapport à la manipulation des nanomatériaux et de la façon dont les équipements (EPI, protection technique, procédés de fabrication des nanomatériaux) viennent questionner les salariés sur leur perception des risques et les manières de se protéger.

5.1.1. Enjeux d'innovation et perception des risques

La prévention des risques liés aux nanomatériaux rencontre nécessairement la question des enjeux d'innovation de ces nouveaux produits. Nous montrons à travers les verbatim que les interviewés nous ont tous parlé du marché de l'innovation, c'est-à-dire de la dépendance de la recherche au thème des nanomatériaux pour obtenir des financements publics ou privés. Ainsi, travailler dans le domaine des nanomatériaux donne aux chercheurs accès à des bénéfices économiques (obtention de projets dans le cadre d'appel d'offre, recrutement de doctorants ou post-doctorants, achat de matériels de haute technologie, etc.) et facilite la production de performances scientifiques (publications, invitations à des congrès internationaux, intégration dans des réseaux de recherche, etc). Ces bénéfices semblent

réduire la perception des risques d'exposition aux nanomatériaux. En effet, l'innovation est mise en avant, ainsi que la passion du métier de participer à ces innovations et le risque n'est pas perçu alors que les mutations technologiques ou les transformations des usages de la matière, par exemple les nouvelles propriétés de l'or à l'état nanométrique, pourraient interroger le salarié.

La recherche sur les nanomatériaux est dépendante de phénomènes de mode :

« *La France, elle a un tort, c'est de faire la mode, de **suivre la mode**, donc la mode, c'est les nanos, ils font des nanos* » (physicien, homme, 64 ans).

« *La mode c'est, on n'arrête pas de l'entendre nano. Moi j'ai été embauchée en 2000 et mon projet de recherche, c'était, thermodynamique et structure de nanophase, donc il y avait déjà nano. **Aujourd'hui, on en fait plus mais on en parle moins.*** » (physicien, femme, 46 ans).

L'innovation relative à l'usage de nanomatériaux est inscrite dans une relation de dépendance entre le monde de la recherche et le monde industriel :

« ***L'industrie a besoin de la recherche pour pouvoir innover*** » (physicien, homme, 41 ans)

« *J'ai fait ma thèse **en collaboration avec une entreprise*** » (physicien, femme, 34 ans)

« *Je ne vais pas me lancer dans le brevet mais il y a aussi de la pression. Les nanos ont été **très tirées par l'avant par les applications potentielles*** » (physicien, femme, 41 ans).

« *Il y a **des marchés de niches pour ces cellules organiques hybrides** qui sont intéressantes et donc moi, je peux proposer de remplacer le Zn0 par des nanotubes de TiO2. Ça les intéresse de trouver des choses pour faire adhérer par exemple...la peau* » (physicien, homme, 35 ans).

Si les innovations sont tirées par les applications industrielles, les entreprises ne financent pas toujours les programmes de recherche. L'innovation dépend de la recherche fondamentale ou des appels d'offre des programmes de recherche publique :

« ***Les industriels** ont l'habitude de dire OK, on veut bien faire des projets, mais on ne donne rien, donc ils **ne financent pas.*** » (physicien, homme, 41 ans)

« *On ne vous finance pas sur les machins non concurrentiels* » (physicien, homme, 47 ans)

« *On se place vraiment dans **un cadre de recherche fondamentale** et on se met dans une situation innovante* » (physicien, femme, 34 ans).

« *ça répondait à un appel à projet de C. C'est un petit financement qu'on avait obtenu et c'est relayé par l'obtention d'un **gros financement ANR*** » (physicien, femme, 41 ans)

« *Rédiger un projet de recherche, c'est passionnant, là tu innoves, tu cherches* » (physicien, femme, 41 ans).

Les chercheurs manifestent beaucoup de passion à participer à l'innovation. On observe de la sublimation, de la séduction des propriétés innovantes liées aux nanomatériaux. Les bénéfices perçus de l'innovation peuvent conduire à ne pas percevoir la question des risques potentiels liés aux nanomatériaux.

« *Vous avez **des propriétés extraordinaires** qui apparaissent. Par exemple l'or qui est un matériau inactif, quand vous l'avez en toutes petites particules, il devient actif//**c'est fabuleux**, ces choses-là, c'est pour ça qu'on est tellement intéressés par les nanomatériaux* » (physicien, homme, 64 ans)

« *Les gens s'intéressent beaucoup aux nanoparticules métalliques parce **qu'elles sont beaucoup utilisées.** Ce sont des nanoparticules manufacturées, ce n'est pas celles qu'on trouve dans l'environnement naturellement* » (physicien, femme, 41 ans).

« On voudrait faire des nanoparticules par voie physique, c'est-à-dire synthétisées par évaporation sous ultravide. C'est **un nouveau protocole**, qu'on va tester sur l'or » (physicien, femme, 41 ans).

« **J'ai réussi à faire passer des billes (de latex) dans des capillaires (de 20 nm de diamètre)** » (physicien, femme, 34 ans)

« La chimie c'est complètement naturel. Dans la recherche **on force un peu la chimie** pour arriver à d'autres choses, mais la plupart des choses qu'on mange et les conservateurs, on est en train de stigmatiser mais on est bien contents d'avoir quelque chose à manger au supermarché et de ne pas aller tous les jours chez la fermière. » (chimiste, femme, 23 ans).

La prise de risque dans le métier de chercheur est décrite comme faisant partie du processus d'innovation, de ce qui mène à la créativité :

« On sait chercher, mais **on ne sait pas ce qu'il faut chercher** » (physicien, homme, 47 ans).

« Il y a **tout à découvrir** » (physicien, femme, 41 ans).

« Il faut laisser des gens chercher, se perdre, se tromper et avancer ou pas si il y a erreur. Si on les dirige trop, vous tuez la créativité//**la créativité vient de la liberté// le droit à l'erreur**, c'est un droit fondamental qu'on devrait avoir » (physicien, homme, 64 ans).

« Moi je n'imagine pas qu'en science, on ne puisse pas **prendre de risques**, donc moi je prends des risques » (physicien, homme, 47 ans).

« On ne pourra pas vivre dans un monde super sécurisé, donc **faisons confiance** » (chimiste, homme, 35 ans).

On constate que les chercheurs physiciens expriment peu de connaissances sur la prise de risque liée aux nanomatériaux sur lesquelles il nous faudrait intervenir en matière de prévention pour aider ce métier à faire le lien entre innovation, incertitude et prise de risque :

« On est **inconscient** dans notre travail parce qu'on est passionné. Nous, on le fait parce que c'est notre métier » (physicien, femme, 41 ans).

« De façon générale au labo, il y a **une inconscience qui est généralisée** » (physicien, femme, 34 ans).

« Il y a des choses qu'on utilise tous les jours aussi qui sont **plus cancérigènes que ça** » (physicien, homme, 47 ans).

« C'est **un risque chronique**, ce n'est pas un risque... » (physicien, homme, 47 ans).

Tandis que les chercheurs chimistes évoquent la prise de risque comme faisant partie de la réalisation de leur travail et du processus d'innovation :

« **On est obligé de travailler de toute façon** » (chimiste, femme, 23 ans).

« On va y aller dedans... et à fond, **c'est inéluctable**, puis si jamais on disparaît, on disparaîtra, tant pis pour nous » (chimiste, homme, 35 ans).

Les bénéfices perçus de l'innovation peuvent conduire à ne pas percevoir le risque lié aux nanomatériaux : la prise de risque fait partie de la créativité dans les métiers de la recherche mais elle est aussi due au manque de connaissances sur la nanotoxicité. Nous souhaitons poursuivre cette piste en regardant précisément dans deux domaines, ceux des chimistes et des physiciens, en quoi l'engagement dans l'activité de travail et la connaissance sur les risques joue sur la perception des risques liés aux nanomatériaux chez les travailleurs et travailleuses.

5.1.2. Effets du métier des travailleurs sur la perception des risques : chimiste versus physicien

La comparaison de la perception des risques liés aux nanomatériaux dans deux spécialités, celles des chimistes et des physiciens, nous a semblé particulièrement intéressante à investiguer du fait que les activités ne sont pas les mêmes. Les chimistes en manipulant des produits chimiques, considérés comme souvent dangereux, ont pu construire une connaissance plus élaborée des risques, qu'ils peuvent transférer dans les situations de manipulation de nanomatériaux en y associant des risques potentiels. Qu'en est-il du déni du risque pour cette catégorie de travailleurs ? Pour les physiciens, percevoir un risque lié aux nanomatériaux semble moins évident. D'une part, leur activité apparaît moins dangereuse, ils ne connaissent pas toujours les procédures ou les moyens pour se protéger d'un risque, comme le risque chimique ou l'explosion. Leur activité dans le domaine de la physique peut néanmoins les amener à être exposés à des risques tels que l'électricité ou l'incendie. Qu'en est-t-il de leur perception du risque lié aux nanomatériaux ? D'autre part, certains physiciens travaillent de façon isolée, d'autres sont en contact avec des chimistes dans le cadre de projet pluridisciplinaire de recherche. Il semble que la proximité de travail avec des chimistes peut aider les physiciens à mieux percevoir les risques potentiels.

Nous montrons effectivement à travers l'analyse des discours des laboratins et laboratines manipulant des nanomatériaux, des différences dans la perception des risques selon le métier (chimiste vs physicien). Les activités de travail et la connaissance des risques (notamment chimiques) jouent un rôle important sur la perception des risques liés aux nanomatériaux. Nous commençons par présenter la perception des risques chez les physiciens puis chez les chimistes, c'est-à-dire que nous partons de ceux qui nous semblent le plus éloignés de la connaissance des risques vers ceux qui peuvent y être plus sensibles et pourraient être dans une réduction du risque ou un déni, dans certaines conditions.

Les **physiciens** semblent moins sensibles aux risques liés aux nanomatériaux que leurs collègues chimistes, du fait qu'ils ne connaissent pas bien les risques chimiques au travail.

Quand ils classent sur une échelle de risque (du plus grave au moins grave) les différents risques liés à leur activité, ils positionnent d'abord les risques électrique, laser ou rayonnement ionisant, explosion, CMR, coupure comme importants et ils n'évoquent pas spécialement le risque lié aux nanomatériaux alors qu'ils en manipulent. Cependant lorsqu'on les interroge sur la toxicité des nanomatériaux après leur avoir fait décrire finement leur activité de travail, ils ont l'air de considérer le risque potentiel comme important. La peur est souvent associée à ce risque « *à l'échelle de la nanoparticule, et ça fait peur parce que ça peut s'infiltrer partout....sans qu'on en soit forcément...conscient ou qu'on soit capable de l'éviter* » (physicien, homme, 41 ans). L'aspect taille est évoqué. Certains savent que selon les propriétés ou le type de nanoparticules (exemple : TiO₂), le passage par la peau, les alvéoles pulmonaires, etc. est possible.

Quand ils parlent de leurs collègues chimistes avec lesquels ils ont de plus en plus d'interaction dans les projets de recherche pluridisciplinaire concernant les nanomatériaux, ils pensent que les chimistes sont exposés à des produits dangereux, faisant référence à la manipulation de produits chimiques, et ils évoquent une sensibilité plus grande de leurs collègues chimistes aux nanomatériaux.

Nous constatons chez les physiciens une perception réduite du risque lié aux nanomatériaux. Il existe un certain nombre de biais dans la construction de la connaissance du risque. Par

exemple, concernant la taille, la quantité, la durée d'exposition, le poids des produits contenant des nanomatériaux, ainsi que la fréquence d'utilisation, etc.

« (à propos de l'ouverture d'une boîte contenant de la poudre de nickel de 20 nanomètres). *Si on l'ouvre, vous allez voir, c'est...c'est tout noir. Mais ça ne s'envole pas, voyez.... C'est du nickel, mais même, ça ne s'envole pas, c'est lourd le nickel, ça ne vole pas* (le chercheur montre en même temps qu'il explique à l'enquêteur). **Les choses lourdes, elles restent au fond.** » (Physicien, homme, 64 ans).

« *C'est des **gros nanos**, les microns. Je vais les fusionner (poudres de nikel) avec... ça change les propriétés mais après, je les fusionne et j'en fais un alliage avec l'aluminium, le lanthane, et l'oxygène et le nickel donc...* » (Physicien, homme, 64 ans).

« *Bon après, **on n'en manipule pas des tonnes**. Bon peut-être il en passe mais...quelques particules sur une pièce qui est aérée, et donc voilà* » (Physicien, femme, 36 ans).

« **Je ne manipule pas non plus des grosses quantités...**il y a quand même peu de risques pour l'individu. Il n'y en a pas non plus une densité telle qu'on n'y voit rien (à propos de rentrer dans une pièce fermée où un moteur de véhicule vient de tourner avec une exposition aux nanomatériaux (98 % de carbone, un peu de soufre et de l'hydrogène) » (Physicien, homme, 41 ans).

« *J'ai dû me piquer une ou deux fois (capillaire de quartz de 2 nm au bout d'une tige), mais bon voilà, **une ou deux fois je pense que c'est pas grand-chose**, faudrait pas que ça arrive tous les jours* » (Physicien, femme, 34 ans)

« *Donc les nanoparticules pour moi, ce n'est pas un risque, je pense, ce n'est pas un risque majeur. non, le premier risque, c'est que je meure d'un accident de voiture sur le trajet// quand j'utilise un produit, **ce n'est pas de façon régulière*** » (Physicien, homme, 47 ans).

Par ailleurs, l'impression pour les physiciens de ne pas être exposé est associé à la forme des nanomatériaux. Quand ceux-ci sont pris dans la matière, l'exposition est jugée faible.

« *Moi je travaille avec les nanoparticules mais dans un environnement complètement hermétique. Quand je prends mon échantillon, que je le sors, il y a des nanoparticules mais qui sont absorbées par le substrat, **je n'ai pas de risque*** » (physicien, femme, 36 ans).

Cette faible perception des risques semble liée à une connaissance relativement faible de la nanotoxicité chez les physiciens, mais aussi à un manque de connaissance sur les propriétés des nanomatériaux, empruntant à des modèles physico-chimiques déjà connus. Par exemple,

« *Moi, c'est de l'or, **c'est très inerte**. Je ne m'inquiète pas là-dessus. Ce n'est pas grave* » (physicien, homme, 47 ans).

« *Non, je ne les ai pas regardées (les poudres de nickel au microscope pour les caractériser). **Je leur ai fait confiance...** ça ne m'intéresse pas trop, finalement, la forme exacte.* » (physicien, homme, 64 ans)

« **Je ne sais pas comment c'est fabriqué**, je ne sais pas, j'imagine que dessus ils mettent les risques qui peuvent être liés à ça, je ne l'ai pas lu (physicien, femme, 34 ans).

« *Après le risque nano, ça, c'est... évidemment, c'est **l'inconnu*** ». (physicien, femme, 31 ans).

« *Après, c'est une histoire de quantité, ça peut générer... peut-être des cancers mais pour l'instant, **ils ne l'ont pas montré*** » (physicien, homme, 47 ans)

Le risque est peu perçu par rapport au résultat de l'activité alors que dans la réalisation de l'activité, la manipulation de produits par le travailleur pourrait être considérée comme dangereuse par quelqu'un d'extérieur. L'activité effective ne semble pas être perçue comme à risque par le travailleur.

« (à propos de jeter dans la poubelle) les nanoparticules, quand elles sont dans la nature, elles ne restent pas ... pas longtemps des nanoparticules parce que, **elles s'agglomèrent très facilement.** (homme, physicien, 47 ans) »

« C'est pas bien grave, même si j'en mets sur la peau, j'en avais versé sur la table, j'ai du mal à les enlever hein...je ne peux pas enlever les traces qui restent. C'est tellement fin. C'est des poudres de 20 nanomètres, c'est vraiment fin, ça rentre dans les petits trous du plastique. Dans l'ADN aussi, dans le doigt, enfin// **il n'y a pas de risques, moi je ne fais que des choses pas dangereuses...rire.....** » (physicien, homme, 64 ans).

Le risque semble être visible à travers l'équipement, ici la table, nous y reviendrons dans le prochain paragraphe, mais le travailleur ne le perçoit pas. On peut se demander ici si le manque de perception du risque se construit sur une stratégie de défense visant à diminuer l'angoisse ou s'il s'agit d'un sentiment de faible gravité, montrant une faible connaissance du risque.

Une autre façon de réduire le risque, c'est d'être dans la négation de la source de risque :

« **Il y a des émissions de nanoparticules par les systèmes qu'on utilise déjà depuis des années. Je sais qu'il y en a partout.** » (physicien, femme, 34 ans).

« **Il y a tellement de poussières nanométriques autour de nous partout, que je ne vois pas très bien les vrais risques** » (physicien, homme, 64 ans).

« **On utilise des poudres fluorescentes, qui sont des poudres évidemment où y a des nanos, des tailles nanométriques, des petits grains de fluor nanométriques, mais ça ça fait des milliards d'années que ça existe (rires).** » (physicien, femme, 34 ans)

« **Des nanoparticules, il y en a partout dans l'atmosphère donc... la nature ...sans que l'homme soit là, il y a des nanoparticules à l'état naturel où on n'y est pour rien, elles étaient là avant nous** » (physicien, homme, 41 ans).

L'impossibilité de se protéger ou la variabilité du fonctionnement humain sont évoqués comme réduction du risque.

« **Vue la taille pour être capables de se protéger complètement, je ne suis pas sûr que ça soit même envisageable** » (physicien, homme, 41 ans)

« **L'organisme humain, c'est très compliqué, chacun a sa propre réaction** » (physicien, homme, 41 ans)

« **Il y a eu des effets sur l'ADN, sur les mutations, les coupures dans l'ADN. Mais bon, tant que je n'ai pas une nanoparticule par cellule (rire)...je pense que je ne risque pas grand-chose parce que le problème, c'est qu'une fois que la cellule elle ne marche pas, soit elle se détruit soit elle se répare** » (physicien, homme, 47 ans)

Parmi les stratégies défensives visant à diminuer la peur du risque et à rationaliser les conséquences du risque, les travailleurs et les travailleuses physiciens mettent en œuvre des savoir-faire de prudence en lien avec leur activité de travail.

« **Je fais attention quand même. Je crois que les gens, ils font attention, il ne faut pas croire, les gens sont pas idiots quand même. Ils n'ont pas envie de mourir** » (physicien, homme, 64 ans).

« **Quand je sais que c'est un peu dangereux, je fais attention** » (physicien, homme, 47 ans)

« **Bon là, faut être très prudent, faut avoir un minimum de conscience professionnelle...de conscience du risque pour pouvoir...sensés savoir que ce qu'on fait, ça peut potentiellement être dangereux et qu'il vaut mieux se poser des questions avant qu'après** » (physicien, homme, 41 ans).

Ces savoir-faire de prudence relèvent de la recherche d'information dans le milieu de travail ou à l'extérieur. Les actions de prévention pourraient s'orienter vers plus d'information pour aider les travailleurs à se construire une représentation du risque pour l'action.

« *Quand j'ai un doute, bon, elle (animateur sécurité) a les fiches sécurité des produits par exemple, bon, je me mets au courant... à la fois de la toxicité puis des procédures spécifiques s'il y en a à respecter avant de manipuler les produits* » (physicien, homme, 41 ans)

« *Ça fait 2 ans que je demande dans mon plan de formation à être formée sur les risques à l'utilisation des nano-poudres, mais il n'y a pas de formation. Donc je lis, j'écoute. C'est sur le tas que je m'informe* » (physicien, femme, 36 ans).

La perception des risques liés aux nanomatériaux chez les physiciens apparaît faible du fait d'un manque de connaissances sur les risques potentiels. On observe des biais dans la connaissance du risque (taille, fréquence, poids, etc.), ainsi que des processus expliquant la réduction de la prise de conscience du risque par les physiciens (négation de la source de risques, pas de lien entre leur activité et le risque, impossibilité de se protéger, peu d'information sur la nanotoxicité). Il serait important pour les physiciens de leur donner plus d'information pour qu'ils connaissent et puissent se représenter le risque, en lien avec leur activité de travail.

Pour les **chimistes**, leurs pratiques de manipulation de produits chimiques participent à une meilleure perception des risques potentiels liés aux nanomatériaux que leurs collègues physiciens. Leur niveau de connaissance sur le risque est plus élevé et peut conduire les chimistes à développer des stratégies défensives pour ne pas être en contact avec le risque, qu'ils perçoivent plus ou moins. Le manque de connaissances précises sur les risques liés aux nanomatériaux est toutefois évoqué. L'accès à l'information et la qualité de l'information apparaît une piste pour des actions de prévention efficaces auprès des chimistes, visant à améliorer leurs connaissances précises des risques liés aux nanomatériaux et se protéger.

Les chimistes classent les risques de façon différente des physiciens en lien avec la pertinence de leur activité sur les nanomatériaux et leurs connaissances sur les risques associés à ces produits. Voici leur classement des risques : 1/ risques chimiques (intoxication, inhalation, ingestion) ou CMR, 2/ risque incendie, ou risque électrique 3/ risques liés aux nanomatériaux. Rappelons-nous que les physiciens ne classent pas le risque lié aux nanomatériaux dans l'échelle de perception des risques.

« *Je fais partie des professions à risque* » (chimiste, homme, 35 ans)

« *Je manipule ça (les nanos), je fais tout de la même manière que travaillerait n'importe quel chimiste. Je manipule comme si c'était des activités de chimie normale* ». (chimiste, homme, 31 ans)

Il y a toutefois chez les chimistes une prise de conscience du risque lié aux nanomatériaux.

« *Depuis le début, on sait qu'il ne faut pas s'exposer, on ne connaît pas clairement les risques. On lit des choses contradictoires et du coup on sait juste que le risque est là* » (chimiste, homme, 31 ans)

« *On doit prendre des risques tout le temps mais il faut que les gens les prennent après l'éclairage du risque* » (chimiste, homme, 35 ans).

Les chimistes acquièrent une connaissance sur les risques liés aux nanomatériaux à partir de la lecture ou de la recherche d'information. Cette recherche d'information fait partie des règles de métier. Des bases de données seraient à concevoir pour améliorer la connaissance sur la toxicité des nanomatériaux manipulés.

« On reproduit des choses qu'on voit dans la littérature mais en l'adaptant ici. **On essaie d'adapter les contraintes de sécurité par rapport à ce qu'on est en train de faire** » (chimiste, homme, 31 ans).

« Je consulte **la fiche du produit**, voir la toxicité » (chimiste, homme, 31 ans)

« Tout n'est pas juste dans wikipédia mais quand on tape le nom d'un composé, il y a toutes les fiches de risque. Il y a d'autres outils plus spécialisés. Mais rien que ça c'est déjà pas mal. Au moins **on voit tout de suite le pictogramme** si c'est un produit toxique » (chimiste, homme, 35 ans).

« On apprend en licence les pictogrammes...**faut regarder dans les livres**...il y a le handbook, où tout est écrit (à propos de la compatibilité des produits quand on les mélange) » (chimiste, femme, 23 ans).

La conscience du risque dans les pratiques professionnelles des chimistes vient de leur formation de base.

De plus, l'expérience d'accident, comme des explosions ou projections dans des laboratoires lors de manipulation de produits chimiques, favorise la prise de conscience du risque lié aux nanomatériaux chez les chimistes.

« ça a permis aux gens de **redoubler leur vigilance** » (chimiste, homme, 35 ans).

« **On s'expose le moins possible aux projections** » (chimiste, homme, 31 ans).

Plusieurs savoir-faire de prudence sont décrits par les chimistes comme relevant de l'adaptation à l'action.

« On essaie de **faire attention quand même** » (chimiste, femme, 23 ans).

« Pour un peu anticiper ce qui peut se passer, **les premiers tests, on fait ça toujours sur des petites quantités**... Etre méfiant sur une première chose que je n'ai jamais fait » (chimiste, homme, 31 ans).

« **On évalue un peu tout ça quand même**. Après tout on est docteur en chimie (chimiste, homme, 35 ans).

« Chacun fait son truc à sa façon, **je fais à ma façon** » (chimiste, femme, 23 ans).

Le rapport au risque s'inscrit dans une activité individuelle mais aussi dans une activité collective réelle. Les pratiques des chimistes sont fondées sur des stratégies de prudence collective visant à protéger autrui. La collaboration entre les anciens et les jeunes est également importante.

« **On se contrôle les uns les autres avec les collègues, voir qu'il n'y a rien qui traîne** » (chimiste, homme, 31 ans).

« Moi je demande à mon chef, il est ouvert. Je ne prends jamais le risque de faire un truc inconnu. S'il n'est pas là, c'est sûr que **j'irai demander à quelqu'un en haut ou quelqu'un en bas**. Je ne prends pas de risque, ça c'est sûr » (chimiste, femme, 23 ans).

Concernant la représentation de la toxicité des nanomatériaux, l'inhalation, l'ingestion sont évoqués comme les risques chimiques ainsi que des craintes sur l'élimination par l'organisme.

« On ne sait pas comment c'est éliminé par l'organisme une fois que c'est à l'intérieur. Tout ça pénètre dans les cellules ou pas...comment ça ressort... donc là, **ça inquiète** » (chimiste, homme, 31 ans).

« Je n'y ai jamais trop réfléchi mais je vois **les mêmes voies de contamination que pour les autres produits** : oral, cutané, enfin les voies respiratoires principalement et cutanées. » (chimiste, homme, 35 ans).

Les chimistes sont critiques sur les connaissances disponibles actuelles en nanotoxicité :

« *On est quand même vraiment dans le flou* » (chimiste, homme, 31 ans).

« *La nanotoxicité, ce n'est pas très bien pris en compte, ça commence. On s'intéresse aux problèmes que quand vraiment ils commencent à apparaître. On attend de voir le risque pour le gérer* » (chimiste, homme, 35 ans).

On constate chez les chimistes l'expression d'une certaine méfiance et l'amalgame avec des propriétés connues de matériaux, comme l'amiante.

« *Faut surtout pas se fier d'ailleurs à la toxicité macro pour en conclure quelque chose sur la toxicité nano, là non, ça c'est certain* » (chimiste, homme, 31 ans).

« *La toxicité, on n'est pas sûrs qu'elle vienne forcément des effets quantiques des nanoparticules, elle peut aussi venir simplement de leur forme. On a des effets proches de l'amiante parce que c'est le côté fibreux...* » (chimiste, homme, 35 ans).

Ce n'est pas uniquement la taille des nanomatériaux, qui est mis en avant dans la perception de la nanotoxicité chez les chimistes comme le font principalement les physiciens.

La prise de risque est mise en lien avec l'action :

« *Les poudres ce n'est pas nanométrique puisqu'on les voit. C'est après avec le laser que ça devient nano* » (chimiste, femme, 23 ans).

« *Quand je découpe les échantillons, auparavant je ne faisais pas du tout attention. C'est dans ce labo, qu'on m'a éveillé à ça, quand on clive le silicium, il y a toujours des petites particules qui s'en vont dans l'atmosphère et elles sont de petite taille, de formes pointues...on imagine que ça peut avoir un effet...comme l'amiante, de venir se planter dans les alvéoles* » (chimiste, homme, 35 ans)

La conscience d'un risque potentiel lié aux nanomatériaux amène certains chimistes à construire des stratégies défensives pour lutter contre l'anxiété d'être exposé, qui prennent la forme de déni du risque.

« *On a des quantités quand même très petites* » (chimiste, homme, 31 ans).

« *L'industrie, eux ils travaillent en tonnes, nous on travaille en milligrammes* » (chimiste, femme, 23 ans).

« *Ce n'est pas très volatil* (à propos de nanoparticules de TiO₂, forme tubes de 40 nanomètres de diamètre de taille et 10 nanomètres). *Enfin ce n'est pas vraiment des particules.* » (chimiste, homme, 35 ans).

Chez les chimistes, la perception des risques liés aux nanomatériaux plus élevée que leurs collègues physiciens est due à une connaissance et des pratiques professionnelles sur la gestion des risques chimique qui amènent à une certaine méfiance et à des savoir-faire de prudence. Les chimistes sont très critiques sur les connaissances disponibles en nanotoxicité et souhaiteraient une amélioration de l'information dans ce domaine pour mieux prévenir les risques liés aux nanomatériaux dans leur propre activité de travail. Ils font le lien entre la prise de risque et leur activité. Ils développent parfois des stratégies défensives de déni du risque.

La comparaison entre des physiciens et des chimistes permet de montrer que la perception des risques liés aux nanomatériaux est différente selon le métier et invite à concevoir des dispositifs de prévention variables en fonction de la connaissance du risque, des informations disponibles en nanotoxicité, du lien fait par le travailleur entre le risque et son activité de travail, ses savoir-faire de prudence et ses stratégies défensives mises en œuvre en fonction de la perception des risques. Nous retenons pour les deux métiers étudiés, que les physiciens auraient besoin d'être outillés dans leur connaissance sur les risques liés aux nanomatériaux pour se construire une représentation du risque. Tandis que les chimistes, qui ont déjà une

conscience plus élaborée du risque potentiel lié aux nanomatériaux, auraient besoin d'information détaillée sur l'accès aux connaissances sur les risques et la nanotoxicité afin d'améliorer la gestion du risque dans leurs pratiques professionnelles. On constate que pour les deux métiers, les travailleurs mettent en œuvre des savoir-faire de prudence, mais qui ne relèvent pas des mêmes processus de construction. Le rapport à l'incertitude et à la prise de risque sont différents pour les chimistes et les physiciens : pour les uns l'incertitude est forte sur les expositions au risque et la prise de conscience du risque semble plus importante ; pour les autres l'incertitude est moins perçue et la prise de risque semble moins préoccupante.

5.1.3. En quoi l'équipement vient interroger la perception des risques des laborantins ?

L'équipement, notamment les équipements de protection individuelle (EPI), apparaît comme un bon moyen d'interroger la perception et la gestion des risques. En effet, l'entrée par les équipements permet d'accéder aux pratiques des acteurs (Star, Griesemer, 1989) ou à leurs controverses sur des objets intermédiaires ou frontières (Vinck, 2006). Nous cherchons à comprendre comment les actions des laborantins sur les équipements traduisent leurs rapports aux risques liés à la manipulation des nanomatériaux.

Nous verrons dans ce paragraphe la façon dont l'équipement est d'abord conçu pour des enjeux d'innovation (augmenter l'efficacité, la productivité, la qualité des échantillons et non pour répondre à des enjeux de nanosécurité, comme par exemple l'usage d'une hotte ou de gants). Les changements de pratiques liés à ces enjeux de productivité et l'usage des équipements viennent interroger le travailleur dans l'action sur l'exposition aux risques, avec des questions sur la sécurité et les moyens de protection vis-à-vis des risques. Ces interrogations mettent en exergue les dispositifs de prévention, le coût de l'investissement matériel et de sa maintenance pour la santé et la sécurité. Dans l'activité réalisée, l'équipement est à mettre en lien avec la prise de risque et les stratégies défensives. Il apparaît des différences entre les chimistes et les physiciens sur les liens qu'ils font entre l'usage des équipements et la perception des risques.

Premier constat, la transformation des processus de production comprenant la manipulation ou la fabrication de nanomatériaux est plus liée à la recherche de qualité du produit que des objectifs de santé.

« *On a des gants en latex tout simplement **pour ne pas polluer surtout les objets, mais pas trop pour se protéger*** » (physicien, femme, 34 ans).

L'introduction d'équipements est avant tout la traduction des enjeux d'innovation pour les acteurs. Progressivement, la question des risques est posée par les travailleurs à travers l'usage des équipements (par exemple confinement des réacteurs, utilisation de hottes pour la manipulation des échantillons, confinement des substrats une fois traités, etc.). L'utilisation d'équipement de protection individuelle (EPI) comme le masque, les gants, devient un instrument de médiation pour poser la question de l'exposition aux risques et initier des débats entre les travailleurs sur la sécurité et la protection face à un risque incertain (cf. partie 5.4. des résultats). Ainsi, l'introduction des nanomatériaux a produit des évolutions dans l'usage des EPI, notamment sur la façon d'articuler efficacité et sécurité pour les travailleurs.

« *Avant de travailler même sur les nano-poudres, je mettais des gants plus pour ne pas salir le creuset avec du gras de mes doigts. **Maintenant, je mets mes gants pour protéger mes mains pour le risque cutané*** » (physicien, femme, 36 ans).

Quel que soit le métier (chimiste ou physicien), il semble que la sensibilisation au risque lié aux nanomatériaux passe par la formation ou les consignes de sécurité visant à utiliser les équipements :

« *En DEA où j'avais eu une formation hygiène et sécurité où on m'avait formé à ça, où on m'avait dit tous les risques qu'il y avait dans les salles blanches et, qu'il fallait mettre des gants, des lunettes, toujours avoir une protection* » (physicien, femme, 34 ans).

« *Enfin les consignes générales, c'est l'utilisation de gants, de blouses, lunettes...manipuler sous une hotte* » (chimiste, homme, 31 ans).

L'usage des EPI renvoie le travailleur à l'exposition aux risques liés aux nanomatériaux et notamment à des questions sur comment se protéger. On constate ici des inquiétudes plus importantes chez les chimistes que les physiciens sur l'efficacité réelle des EPI dans la protection réelle au risque. Cela peut s'expliquer par la différence de perception des risques entre ces deux domaines (cf. partie précédente des résultats, partie 5.2.). Par exemple, à propos des masques, le physicien semble plus confiant vis-à-vis du filtre des masques que le chimiste.

« *On a acheté des gros masques à cartouches// qui sont les PPF3, c'est-à-dire, c'est mieux que les masques à poussière standard, il y a déjà un petit filtre.* » (physicien, femme, 36 ans).

« *On a des gros masques à gaz et nanoparticules, si je ramène des nanoparticules au-dessous, ça fait toujours une protection* » (chimiste, femme, 23 ans).

Autre exemple, à propos de la hotte ou de la boîte à gants, le chimiste pose davantage la question de l'incertitude de l'extraction des particules que le physicien.

« *Dans la boîte à gants pour tout ce qui est manip, préparation de nos échantillons pour les nano-poudres donc ça c'est ce qu'on a comme protection* » (physicien, femme, 36 ans).

« *Je me mets sous la hotte et ça aspire mes particules. Je n'en suis pas comme certains, à mettre un masque mais je me mets sous la hotte. Je n'ai pas besoin de trucs très ultra-propres.* » (chimiste, homme, 35 ans).

Les chimistes semblent porter davantage les EPI que les physiciens. Ceci peut s'expliquer par leur perception accrue des risques liés aux nanomatériaux.

« *Je travaille sous hotte avec des gants, avec lunettes de protection* » (chimiste, homme, 31 ans).

« *Quand il y a plus de risques, je mets mes lunettes* » (chimiste, femme, 23 ans).

D'ailleurs, les physiciens semblent associer la protection concernant les risques liés aux nanomatériaux au risque chimique.

« *Je mets des gants et une blouse, j'ai même une blouse, derrière vous, c'est quand je fais de la chimie* » (physicien, homme, 64 ans).

L'équipement semble davantage relever d'une perception des risques liés aux nanomatériaux chez les chimistes que les physiciens. L'équipement est la traduction de l'exposition aux risques pour les chimistes et de leurs inquiétudes quant à l'efficacité de ces équipements en matière de sécurité. S'équiper devient pour eux une nécessité pour se protéger des risques potentiels liés aux nanomatériaux.

Pour les physiciens, l'équipement est perçu comme le garant de la sécurité.

« *On se doit aussi d'essayer d'équiper les manips de dispositifs de sécurité* » (physicien, homme, 41 ans).

« *C'est vendu comme étant étanche aux gaz donc étanche aux nanos* (à propos de la boîte à gants) » (physicien, femme, 36 ans).

« *La chimie, il y a des hottes pour manipuler, **un environnement sécurisant pour manipuler des produits. Il y a des détecteurs pour détecter certains types de gaz dangereux.*** » (physicien, homme, 41 ans).

Cependant la taille des nanomatériaux questionne les physiciens sur l'efficacité réelle des moyens de protection. L'équipement semble un bon moyen pour aider les physiciens à prendre conscience du risque. Passer par l'équipement pour les physiciens apparaît comme une orientation intéressante pour mener des actions de sensibilisation et de prévention aux risques liés aux nanomatériaux.

« *On a des salles blanches pour éviter les poussières, mais pas vraiment les nanoparticules et puis **il n'y a pas de filtre efficace, de toutes manières.** Même les filtres à 0,1 micron, je vais dire...les nanoparticules, elles diffusent sans souci* » (physicien, homme, 41 ans)

« *Est-ce que si c'est vraiment nano, est-ce que notre boîte à gants qui est faite pour manipuler, **est-ce que les filtres sont mêmes conçus pour arrêter ces particules ?*** » (physicien, femme, 36 ans).

« *On garde la poudre comme ça fermée, et ponctuellement on va se mettre sous la hotte pour remplir les creusets mais il y a toujours une étape où, quand on prend le creuset dans les mains (remplir les capillaires pour les rayons X), **on fait tout ça avec le masque et les gants mais, est-ce que ça suffit pour les nanos ?*** » (physicien, femme, 36 ans).

L'utilisation des EPI par les physiciens semble dépendre de leur perception des risques liés aux nanomatériaux.

« *Quand même on voyait des petites particules fines, donc là je pense qu'on va s'équiper aussi d'une combinaison intégrale, **au moins d'une charlotte parce que les cheveux après ils en sont pleins*** » (physicien, femme, 36 ans).

Les physiciens sont dans l'attente de quelque chose de visible pour s'équiper. Ce qui semble très différent pour les chimistes, qui connaissent l'invisibilité des produits chimiques et de leurs effets sur la santé.

Quel que soit le métier, une manière de lutter contre la peur d'être exposé aux risques liés aux nanomatériaux est d'utiliser les équipements comme une façon d'assurer une double protection. Ici, le besoin de s'équiper est clairement exprimé comme un moyen de prévenir les risques d'exposition. L'usage des équipements apparaît comme la traduction d'une perception des risques liés aux nanomatériaux.

« *En général, on se protège avec des gants, **on met deux paires de gants, l'une sur l'autre, on ne sait jamais (quand entre dans une cheminée pleine de nanoparticules liés au gaz d'échappement)*** » (physicien, homme, 41 ans)

« ***Je mets mes lunettes, plus ces lunettes (2 paires de lunettes).** C'est interdit de manipuler avec des lentilles. Les lentilles, avec les vapeurs chimiques, j'ai mal aux yeux. Ça reste dans les lentilles, ça fait super mal aux yeux et ça fatigue super vite. Mais bon parfois, question de facilité, je mets mes lentilles et ces lunettes-là. Ça dépend du risque.* » (chimiste, femme, 23 ans).

Nos interviewés ont fait un lien entre le risque lié aux nanomatériaux et les dispositifs de prévention existants. Il apparaît que les coûts relatifs à l'investissement dans l'équipement est un frein à la mise en œuvre de la sécurité et de la prévention.

« *On n'est pas forcément toujours équipés donc là...faut une grande prudence parce que les gaz toxiques, ils sont souvent inodores, incolores. **Le détecteur coûte une fortune, on ne l'a pas forcément sous la main*** » (physicien, homme, 41 ans). On constate ici une conscience du risque mais des équipements qui ne permettent pas la détection de l'exposition au risque. La

question des budgets d'investissement en matériel ou de maintenance des équipements est évoquée comme un frein à la prévention et montre des formes d'empêchement dans l'activité pour se protéger des risques liés aux nanomatériaux.

« *J'avais réussi à avoir des sous pour s'équiper, le broyeur, mais qui dit broyeur dit aussi **bols et billes et puis ça s'use** hein et quand tu veux racheter, il y a tout cet aspect de **l'argent de fonctionnement qui peut manquer*** » (physicien, femme, 36 ans).

« *Il y a **une douche, mais qui ne marche plus**. Ca fait je ne sais pas combien de temps, qu'on demande à la fac d'avoir une douche qui marche. Non, c'est...**ça qui est épuisant*** » (physicien, femme, 36 ans).

En l'absence de mesure de protection collective, le chercheur prend des initiatives pour se protéger des risques potentiels. Il assure la sécurité individuelle à travers l'usage des équipements pour compenser le manque de stratégies collectives de gestion des risques. Par exemple,

« *On a acheté les bidons, on a acheté des poubelles, **le chercheur doit tout se faire... mais ...la poubelle avait disparu*** » (physicien, femme, 36 ans).

Le questionnement sur l'usage de l'équipement, ici les EPI, en lien avec l'activité de travail semble une bonne piste pour concevoir une prévention des risques liés aux nanomatériaux, adaptée à la diversité des pratiques professionnelles selon les métiers. Les physiciens, qui perçoivent peu les risques liés aux nanomatériaux, ont tendance à ne pas attribuer une grande importance aux EPI. Leur représentation des EPI pour se protéger d'un danger potentiel est lacunaire et montre un manque de connaissances sur la nanosécurité. L'efficacité de l'action est mise en avant au détriment des questions de protection vis-à-vis des risques.

« *J'ai des lunettes pour éviter les projections je n'en utilise pas, non, peut-être que je devrais, je ne sais pas, mais je n'en utilise pas....je suis quand même assez prudent avec ça, donc les gants, oui, les lunettes pas systématiquement* » (physicien, homme, 41 ans)

« *On a des lunettes (à propos de l'utilisation de laser), faut dire que **je ne les mets pas très souvent** (rire). En général je ne les mets pas parce **qu'elles me gênent**.* » (physicien, homme, 41 ans).

Pour les chimistes, le rapport aux équipements traduit davantage la prise de conscience du risque. Celle-ci apparaît très dépendante de l'activité réalisée de manipulation des nanomatériaux et montre que l'équipement reflète pour les chimistes une perception accrue des risques liés aux nanomatériaux.

« *On passe d'une fiole à l'autre, c'est à la pipette. Alors même si on met des gants...**la pipette, il reste quelque chose dedans**, on a beau rincer avant de jeter...il y a toujours un moment pour être en contact avec.../sur la pipette, sur toute la paroi il reste un peu de solution. Il est directement en contact avec l'air, qui peut être volatile.* » (chimiste, homme, 31 ans).

« *Au moment des poudres, je travaille avec les gants, et même sans gants, l'oxyde de zinc, ce n'est pas dangereux donc après...on fait en sorte que quand on fait après la solution, on puisse mettre des gouttes sur le doigt. **Il y en a un peu sur les parois**. Je prends toujours un sopalin pour toujours essuyer les parois, parce qu'avec les gants, en fait c'est une manipulation, la cuve peut tomber en fait. **Je préfère travailler quand même avec les mains**. Et puis mes gants en vinyle enfin, je n'ai pas trop parce qu'après, il faut ajuster le laser, les trucs enfin, il y a pas mal de choses à faire en même temps.* » (chimiste, femme, 23 ans)

L'équipement dans son usage dans l'activité de travail par les laboratins apparaît un bon indicateur de la perception des risques liés aux nanomatériaux. Nous montrons dans ce

paragraphe, que ce rapport à l'instrument dépend avant tout du métier exercé même si les enjeux de qualité des produits sont les mêmes pour tout le monde et les questions de budget d'investissement pour le fonctionnement du matériel sont identiques. Le rapport à l'équipement apparaît une piste intéressante en matière de prévention des risques liés aux nanomatériaux pour sensibiliser les physiciens à la perception des risques et pour concevoir avec les chimistes des équipements plus performants (filtre, aspiration, etc.) pour réduire la méfiance dans la protection donnée par les équipements.

Dans cette première partie des résultats sur la perception des risques liés aux nanomatériaux, nous avons montré que cette perception des risques est :

- biaisée par les enjeux d'innovation qui prennent le dessus sur les questions de sécurité ;
- hétérogène dans les modèles de risques selon les disciplines, qui connaissent des risques assimilables aux nanomatériaux et ont développé des pratiques visant à se protéger des risques potentiels. Ici la différence de perception des risques est importante entre des physiciens et des chimistes ;
- dépendante de l'usage des équipements, qui pose des questions sur l'exposition et les moyens de protection.

Ces premiers résultats nous amènent à concevoir une diversité d'actions de prévention des risques liés aux nanomatériaux, fondée principalement sur l'activité réelle de travail, qui tient compte d'une perception des risques différenciée selon les enjeux d'innovation, les métiers et les équipements de travail.

Nous souhaitons compléter ces premières analyses sur la perception des risques par quelques résultats supplémentaires d'entretiens et d'observation de terrain dans d'autres laboratoires publics investigués durant la recherche. Dans la partie suivante, nous présentons nos interrogations sur le lien entre risques, usage des équipements (y compris EPI) du point de vue du sexe/genre des travailleurs, afin de faire un pas de plus dans la compréhension de la perception et la gestion des risques liés aux nanomatériaux dans l'activité réelle de travail.

5.2. Des femmes à l'origine des demandes d'intervention sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux : quelles questions sur la perception et la gestion des risques ?

Les demandes d'intervention sur la mise en œuvre de dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux émergent souvent du travail des femmes, comme dans d'autres demandes d'intervention ergonomique sur la prévention de risques professionnels (par exemple, Troubles Musculo-Squelettiques et Risques Psychosociaux). Nous avons examiné ces demandes au regard du sexe et du genre, notamment en considérant que le rapport aux risques est différent pour les hommes et les femmes compte-tenu des perceptions, des croyances dans la maîtrise des risques selon l'adhésion à des stéréotypes de sexe, mais aussi en lien avec leur activité différente de travail. Rappelons que les risques liés aux nanomatériaux sont encore mal connus de la part des salariés du fait d'un manque de connaissances en nanotoxicité. Il semble donc particulièrement intéressant d'investiguer la perception des risques du point de vue du sexe/genre car on peut penser que les peurs, les croyances peuvent être différentes pour les travailleurs et les travailleuses selon le sexe ou le genre. La division sexuée du travail entre les hommes et les femmes dans les laboratoires peut jouer aussi un rôle dans la perception de ce risque émergent. Notre objectif est de montrer que les femmes plus exposées aux risques liés aux nanomatériaux du fait de leur activité dans le laboratoire, relative à leur statut, font émerger les demandes d'intervention sur la prévention de ce type de risque. Les femmes peuvent davantage percevoir les risques liés à la manipulation de ces objets, que les hommes qui sont moins exposés à ce risque dans leur activité. Elles n'avaient pas forcément conscience du risque avant l'intervention de l'INRS. La prise de conscience du risque est rendue possible par les experts, même si le lien entre exposition et effet sur la santé est en cours de production de connaissances.

Le recueil de données est basé sur des entretiens semi-directifs sur la perception des risques des laborantins et chercheurs hommes et femmes, des observations de l'activité sur le terrain visant à comprendre l'intégration des nouvelles pratiques de prévention dans la réalisation du travail de manipulation des nanomatériaux, suite à des mesures de caractérisation des nanoparticules dans des laboratoires de recherche, faites par le département métrologie de l'INRS, préconisant dans certains cas des mesures de prévention et de protection. Nous avons étudié deux cas d'intervention dans le détail sur l'interaction genre et risque (Caroly, 2014 ; Caroly et al., 2015). Nous présentons ici un seul cas dans un laboratoire de recherche publique.

Le cas du laboratoire public, posant la question du lien entre risques, genre et équipement, est exposé de façon descriptive ci-dessous. Nous ferons une analyse genrée de ce cas du point de vue de la perception et de la gestion des risques après sa description.

Dans le cadre d'un projet pluridisciplinaire en micro-biologie et en physique, impliquant deux laboratoires, le travail consiste à limiter l'adhésion des bactéries sur l'acier inox par procédés plasma en intégrant dans une couche organo-silicée des particules d'argent (qui ont un effet bactéricide). Ce sont deux femmes, une doctorante et une post-doctorante, qui sont amenées à faire ce travail. Le premier laboratoire a obtenu un projet ANR porté par un chercheur homme, titulaire sénior en physique, qui permet le financement de deux biologistes, femmes, non permanentes (la doctorante et la post-doctorante). Pour réaliser le projet ANR, ce laboratoire construit un partenariat avec un autre laboratoire, qui passe principalement par l'usage d'un équipement disponible chez ce dernier. Ce deuxième laboratoire possède en effet des réacteurs de dépôt permettant de faire les manipulations avec les nanomatériaux. Il s'avère que l'excès de dépôt est la première difficulté rencontrée par la doctorante. Il contamine les échantillons ce qui n'est pas favorable pour assurer une bonne qualité des

échantillons produits à la fin du processus de dépôt. Le souci d'assurer la qualité des échantillons et de les protéger de la saleté se traduit par une activité de nettoyage des réacteurs, non prévue dans le protocole d'expérience initial et qui ne relève pas théoriquement des tâches principales du chercheur. La doctorante, qui est enceinte, présente cette activité de nettoyage (grattage des parois du réacteur pour le rendre propre et maîtriser les conditions de dépôt à la prochaine manipulation) à son équipe de rattachement du premier laboratoire, qui lui demande d'arrêter les manipulations dans le deuxième laboratoire où elle et sa collègue post-doctorante réalisent les manipulations sur la machine.

Plus exactement, la doctorante fait la présentation de son travail aux chercheurs hommes de son équipe en montrant la manipulation faite sur la machine, notamment du nettoyage du réacteur. Les chercheurs discutent des conditions de sécurité de cette opération et l'ingénieur sécurité, une femme, lui interdit d'aller manipuler dans le deuxième laboratoire par principe de précaution sur cette activité jugée à risque. Par la suite, un contact a été pris avec l'INRS pour faire une campagne d'essai visant l'évaluation du risque lié aux nanoparticules. La doctorante n'a pas été réellement impactée dans son travail pendant l'arrêt de la manipulation, puisqu'elle partait en congé maternité. Pour la post-doctorante, c'était différent, elle était bloquée dans la réalisation de son travail de recherche. Avant que l'INRS ne vienne faire sa campagne, les chercheurs hommes du premier laboratoire sont venus regarder le réacteur du deuxième laboratoire et, « *sans avoir fait les mesures mais comme ça en regardant, ils nous ont dit qu'a priori on pouvait faire... Ils nous ont donné quelques recommandations et dit qu'on pouvait reprendre* » (post-doctorante). A partir de là, la post-doctorante et la doctorante, qui revenait de congés maternité, ont repris les manipulations.

On note ici une division genrée du travail, liée aux statuts des chercheurs : les hommes sont permanents et les femmes non permanentes. Ce qui implique que les hommes décident des tâches des femmes et ainsi de leur exposition aux risques liés aux nanomatériaux. La doctorante et la post-doctorante sont amenées à faire des tâches auxquelles elles n'étaient pas préparées : « *le doctorant est concerné, parce que c'est sa manipulation* » (responsable du laboratoire 1, homme).

Les mesures faites par l'INRS ont montré que l'opération de grattage du réacteur était risquée, qu'il n'y avait pas de gestion spécifique des déchets nano et que la concentration de particules ultra-fines dans l'air ambiant était élevée. Les recommandations ont porté sur les EPI (masque, blouse, gants jetables), un traitement spécifique des déchets nano (poubelle hermétique, étiquetage du sac poubelle avec la marque nano pour aller dans la filière classique de gestion des déchets), de nouvelles procédures pour le grattage des parois du réacteur (passage d'un nettoyage à sec à un nettoyage mouillé, en humidifiant le papier de verre et en récupérant les poussières avec un chiffon toujours mouillé à l'éthanol).

Le retour de l'INRS sur les mesures des risques potentiels liés aux nanomatériaux provoque chez les femmes concernées par l'activité, une prise de conscience du risque associée à la peur d'être exposées. Cette perception des risques s'accompagne d'une négociation avec les chercheurs hommes sur les tâches à effectuer pour terminer le projet de recherche.

« *Quand on a eu les résultats. C'est là que moi j'ai voulu arrêter les manips. J'étais quand même sceptique sur le fait qu'il y ait aucun risque. Du coup forcément, fallait quand même que j'en parle à mes chefs. C'était la fin du projet, ils l'ont bien compris. J'ai fini quelques manips, histoire d'avoir deux trois dépôts suffisants. Disons que j'ai fait le minimum qui me restait à faire...* » (post-doctorante, femme)

La prise de conscience du risque dans la réalisation de l'activité amène les femmes à modifier leur pratique professionnelle « *Avant le passage de l'INRS, je mettais de l'éthanol au début*

puis je grattais, ça m'était arrivé de gratter plus à sec. Après le passage de l'INRS, j'ai vraiment gratté avec le papier toujours humide pour vraiment récupérer les poussières avec un chiffon toujours humide. Enfin, c'était des pratiques, je ne pensais pas que ce que je faisais c'était mal faire. » (post-doctorante, femme).

« Par exemple, réutiliser un masque ou quand on gratte on a des poussières sur les gants, en fait. Et de bouger le masque avec les gants, c'est vrai que l'INRS nous a dit d'éviter parce qu'en fait du coup, on contamine tout le tour du masque. C'est vrai que maintenant, je fais attention. J'enlève les gants avant d'enlever le masque. C'est plein de petits détails comme ça que je faisais pas avant. Et pareil la blouse, je portais pas systématiquement la blouse... » (post-doctorante, femme).

Cette prise de conscience du risque ainsi que la modification des pratiques professionnelles participe surtout à des changements de perception sur l'exposition au risque lié aux nanomatériaux, notamment la compréhension que la maintenance/nettoyage sur des nanomatériaux pris dans une matrice peut être aussi exposant que des poudres. L'ergonomie de conception a démontré depuis longtemps que si les phases de production ou de fabrication sont souvent pensées en matière d'équipement ou de protection visant la sécurité du travail tout en assurant l'efficacité de la production, il y a une absence ou un manque d'équipement concernant les phases de nettoyage (par ex., ici gratter les parois du réacteur) ou les phases de maintenance, qui sont perçues par les concepteurs comme des tâches annexes de la production (Daniellou, 1986) à faible valeur ajoutée.

« On se rendait vraiment pas compte. On en a reparlé depuis avec C. (la doctorante). On n'y a pas pensé. Pourtant on connaissait le risque des nanoparticules, mais pour nous en fait c'était pas comme si on manipulait de la poudre. Mais là comme c'était dans une matrice qu'on grattait, on n'y a pas pensé... » (post-doctorante, femme)

On constate également que l'élargissement de la perception des risques couplé à des changements dans la façon de réaliser l'activité de travail amène les femmes à de nouvelles demandes d'équipement pour se protéger vis-à-vis du risque.

« Je voulais commander un masque avec de l'air qui soufflait pour que ce soit plus efficace au niveau respiration. Pour vraiment éviter de respirer des nanoparticules. » (post-doctorante, femme).

L'analyse de ce cas nous paraît intéressante pour discuter de la perception des risques liés aux nanomatériaux selon le sexe/genre. Le risque d'exposition plus présent chez les deux femmes, du fait de leur activité de « laborantine », réalisant des échantillons et le nettoyage de leur matériel, semble amener celles-ci à une meilleure perception des risques liés aux nanomatériaux que les hommes, qui semblent ne pas percevoir ces risques. Cette exposition au risque plus élevée chez la femme que chez l'homme s'explique par une répartition du travail en fonction des rôles sociaux. Dans le cas présenté, les hommes occupent les postes de chercheurs permanents, qui assurent la bonne réalisation des projets de recherche et les femmes exécutent en tant que chercheurs non permanents, ici lié à leur statut de doctorante et post-doctorante. Cette différence de perception des risques peut être lié à leur âge et leur ancienneté (cf. encadré p.49 sur la perception des risques selon l'âge et l'ancienneté).

Nos résultats sur la perception et la gestion des risques liés aux nanomatériaux selon le sexe/genre invite à concevoir les actions de prévention en analysant non seulement les demandes d'intervention qui sont souvent genrées (la demande vient ici plutôt des femmes que des hommes), et surtout en prenant en compte les différences d'activité des femmes et des hommes. Les expositions des femmes ne sont pas les mêmes que celles des hommes parce

que leurs activités sont différentes, du fait de la division sexuelle du travail et même pour une tâche prescrite identique (Messing, 2000). Cette exposition au risque lié aux nanomatériaux si elle n'est pas toujours consciente, conduit à une perception différenciée des risques selon le sexe/genre. Les femmes, plus exposées dans leur activité, peuvent mieux percevoir les risques liés aux nanomatériaux que les hommes et être davantage en questionnement sur les mesures de protection pour leur sécurité et leur santé. Ainsi, il apparaît que les messages de prévention sont à adapter pour les hommes et les femmes de façon différenciée, il n'y a pas un modèle unique des risques liés aux nanomatériaux. Lorsque les femmes ont conscience de l'existence potentielle d'un risque, elles cherchent à agir pour le prévenir : port d'EPI selon les recommandations, application de procédures de sécurité, demande d'informations complémentaires, interpellation du médecin du travail, recherche de connaissances à l'extérieur de l'entreprise. De plus, dans la situation de la doctorante, le fait d'être une femme enceinte a des répercussions sur sa perception des risques et l'interdiction par la responsable sécurité de poursuivre son activité risquée.

Les orientations des actions de prévention pour les femmes sont plus à envisager sur les EPI et les procédures visant à réduire l'exposition aux risques, tandis que pour les hommes il s'agit davantage de trouver les moyens de les aider à prendre conscience des risques liés aux nanomatériaux par des campagnes d'information sur la nanotoxicité.

Partir de la perception des risques et des stratégies de gestion des risques liés aux nanomatériaux selon les caractéristiques de la population apparaît indispensable pour une prévention efficace et durable. En effet, qu'il s'agisse du métier (physiciens versus chimistes) ou du sexe (homme versus femme), on trouve des résultats similaires, sur la nécessité d'adapter la prévention au modèle hétérogène des risques, qui provient d'activité réelle de travail différente (en termes d'exposition, de connaissances des risques, de possibilités de se protéger, etc.).

Dans les deux encadrés ci-dessous, nous présentons des résultats déjà explorés ou connus dans la littérature, concernant la perception des risques, notamment sur les stéréotypes de sexe et d'âge combinés avec l'ancienneté dans le métier. Le premier encadré porte sur la perception des risques accrue chez les femmes jeunes sur les liens entre l'activité professionnelle et le hors-travail, notamment les expositions potentielles des enfants aux risques liés aux nanomatériaux. Le deuxième encadré porte sur les effets de l'ancienneté sur la perception des risques, notamment la sensibilisation plus importante des jeunes, hommes et femmes, liée à leur formation initiale récente et à des pratiques professionnelles en cours d'acquisition. Ces deux encadrés soutiennent notre propos sur la nécessité de concevoir des actions de prévention en fonction des caractéristiques des travailleurs et de leur activité, qui peut influencer grandement leur perception des risques et leur gestion.

Encadré 1 : Le rapport à autrui dans la perception des risques, une question de sexe/genre

Qu'il soit homme ou femme, avoir un étudiant sous leur responsabilité peut encourager les chercheurs à modifier leur comportement : « *j'insiste surtout pour mon étudiant, du coup j'essaye de lui montrer l'exemple* » (physicien, homme, 64 ans) ; « *j'essaie quand j'ai un stagiaire de lui expliquer et de faire attention* » (physicien, femme, 34 ans). En effet, la plupart des événements indésirables rapportés durant l'enquête concernaient les étudiants qui se retrouvent parfois en porte à faux entre les exigences professionnelles de leurs responsables et des conditions de travail pouvant être périlleuses.

D'une façon générale, la prise de risque est vécue comme plus acceptable lorsqu'elle n'engage que soi-même, la difficulté étant de caractériser le risque pour soi et pour les autres. Dans ce rapport entre le risque pour soi et pour autrui, les femmes chercheuses semblent plus soucieuses que leurs collègues hommes de ramener des nanomatériaux à la maison à travers leurs vêtements, leur cheveux, et d'exposer leurs enfants à ce risque. Une chercheuse explique qu'elle met systématiquement la blouse depuis qu'elle a des enfants, de peur de les contaminer en rentrant chez elle. « *Moi j'aimerais travailler avec des gens qui parlent du risque, même si je manipule, je préfère savoir, même si je vais continuer à manipuler. C'est quand même mieux de savoir //depuis que j'ai des enfants, avant je ne mettais pas la blouse de façon systématique// maintenant, je la mets, ce n'est même pas pour moi, c'est juste parce qu'au moins, je n'ai rien sur mes habits quand je....quand je rentre //je ne pense pas que de savoir, ça nous empêche de travailler, on se protège un peu mieux.* » (physique, femme, 36 ans, 10 ans d'ancienneté).

De plus, il est apparu que pour un même métier, par exemple ici les physiciens, les femmes ont tendance à mieux percevoir le risque lié aux nanomatériaux que les hommes. Cela peut s'expliquer par des différences d'activité de travail, comme nous l'avons montré. Elles peuvent ainsi être plus sensibles au risque de transporter des nanomatériaux dans le monde du hors travail, avec des expositions potentielles pour leur entourage.

Encadré 2 : Effet de l'âge et l'ancienneté sur la perception des risques liés aux nanomatériaux

Tous les chercheurs ont relevé le fait que l'aspect santé-sécurité au travail était de plus en plus présent, à la fois dans les formations et dans les procédures de recherche. Ainsi les plus jeunes chercheurs interrogés ont souvent été sensibilisés durant leurs études, ce qui est moins le cas des plus anciens. Les formations aux nouveaux arrivants ont également tendance à se développer ces dernières années au sein des laboratoires.

Les anciens perçoivent moins les risques liés aux nanomatériaux que les novices, parce que leur formation initiale, d'une part, est ancienne et n'a pas pu aborder ce risque émergent, et que l'absence d'effets néfastes avérés des nanomatériaux sur la santé, d'autre part, ne favorise pas non plus la prise de conscience du risque. La proximité avec un produit ou la fréquence d'exposition à une situation de travail sans effets néfastes avérés minimise, à terme, la perception du risque.

Les anciens, habitués à manipuler des nanomatériaux (« *j'en fais depuis 40 ans* »- physicien, homme, 64 ans), ne perçoivent pas le risque comme les jeunes chercheurs. Il s'agit d'un biais d'invulnérabilité lié à l'expérience (puisque rien n'est arrivé jusqu'à présent, pas de pathologie avérée aujourd'hui, il n'y pas de raison que ce soit risqué). Ainsi de nombreux chercheurs reconnaissent s'abstenir parfois de porter l'équipement préconisé dans une situation donnée (souvent les chaussures fermées, les gants ou la blouse).

Un chercheur rapporte néanmoins une anecdote concernant un ancien collègue de travail, « *un vieux de la vieille, à la retraite maintenant* » qui, en allant trop vite sur une manipulation (électron solvaté dans l'ammoniac liquide) a été victime d'une explosion avec projections de verre. Beaucoup d'anciens chercheurs parlent en termes d'« habitudes », évoquant par-là l'idée qu'un savoir-faire acquis dès le départ, par exemple en formation initiale, était un gage de performance en termes de sécurité. Il semble plus difficile de changer ses gestes professionnels au fil du temps.

Du point de vue de la prévention des risques liés aux nanomatériaux, il apparaît important de mieux informer les chercheurs anciens sur la nanotoxicité pour les aider à prendre conscience du risque et les soutenir dans l'appropriation de gestes de sécurité pour mieux se protéger vis-à-vis du risque. Les jeunes chercheurs plus sensibilisés, n'en sont pas moins exposés aux risques. En effet, sur le plan médical, cela pose des questions sur les actions de prévention à mettre en œuvre pour ces populations novices en termes de suivi, prise en charge, etc. qui seront nécessairement plus exposés dans le temps aux nanomatériaux que les anciens.

5.3. Concevoir une démarche de prévention des risques liés aux nanomatériaux dans le milieu industriel, fondée sur l'articulation entre représentation et action

Dans cette troisième partie de résultats, nous présentons le cas d'une intervention dans une entreprise industrielle. Nous avons montré dans les parties précédentes l'hétérogénéité des modèles de risques liés aux nanomatériaux selon les caractéristiques des chercheurs en laboratoire (métier, sexe, âge, ancienneté) et surtout leurs activités de travail (actions sur les nanomatériaux, usage des équipements, enjeux d'innovation). Dans cette partie, l'objectif est de mieux comprendre l'interaction entre perception et gestion des risques. Nous montrons à travers la conception d'un dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux comment l'action transforme les représentations et la façon dont la perception des risques évolue au fil des échanges entre les salariés sur leur activité de travail. Nous abordons ici notre deuxième hypothèse de recherche, à savoir la construction de la démarche de prévention dans la conduite de projet visant à transformer le travail pour produire des connaissances nouvelles sur la prévention de ce risque professionnel.

La présentation de ce cas d'intervention suit l'exposé suivant : le contexte de l'entreprise, un rappel rapide de la démarche d'intervention et les résultats concernant les effets de l'intervention sur les changements de représentations et les actions de prévention des risques liés aux nanomatériaux.

5.3.1. Contexte de l'intervention dans l'entreprise A

La demande de l'entreprise, initialement adressée à l'INRS en 2010, est formulée par le département Recherche et Développement (R&D) qui va prochainement manipuler des nanomatériaux afin d'en étudier les propriétés innovantes pour le process de fabrication. Cette entreprise familiale est centrée sur la valorisation de matières agricoles riches en amidon pour la production d'une gamme étendue de produits utilisables dans de nombreux secteurs alimentaires et industriels (nutrition humaine et animale, pharmacie et cosmétologie, papier carton et adhésifs, chimie et bio-industries).

La genèse de la demande a été portée par un groupe de salariés d'un laboratoire qui ont compris que leur activité allait évoluer vers la manipulation de nanomatériaux, suite à la lecture d'une étiquette indiquant un produit contenant des nanomatériaux. Les salariés ont alerté le Comité d'Hygiène, Sécurité et Conditions de Travail (CHSCT), qui a souhaité plus d'information sur les risques liés aux nanoparticules afin de mener une campagne de communication et de prévention auprès des salariés. Une demande a été adressée à l'INRS afin de caractériser l'exposition professionnelle aux risques liés aux nanomatériaux suite au refus des salariés du laboratoire de manipuler un produit sous forme nanostructurée.

L'introduction de nanomatériaux dans cette entreprise se traduit par une situation conflictuelle entre salariés et management et une difficulté de dialogue social entre les partenaires sociaux et la direction. Après présentation des résultats de caractérisation des nanomatériaux par l'INRS, qui ont montré que les particules de TiO_2 étaient enrobées dans des nanoparticules de CaCO_3 , nous leur avons proposé de les accompagner dans la conception de la manipulation de produits nanostructurés et la mise en place d'un dispositif de prévention lié à ce type de risque en lien avec les représentations et les activités des techniciens du laboratoire, et en prenant en compte le dispositif de prévention existant dans l'entreprise.

Pour compléter la présentation du contexte de l'entreprise par rapport à cette demande d'intervention ergonomique, nous reprendrons le dispositif de prévention existant dans l'entreprise, l'histoire de l'introduction des nanomatériaux dans cette entreprise et le rôle du service commercial.

La démarche de prévention des risques professionnels de cette entreprise repose sur un système de management de la sécurité mis en œuvre par le service sécurité. Ce service a réalisé le document unique d'évaluation des risques professionnels, qui n'a pas été mis à jour depuis 6 ans dans le département R&D. Une évaluation du risque chimique a été réalisée pour tout le département R&D. Le service sécurité est en cours de restructuration avec la mise en place d'un correspondant sécurité dédié par département pour assurer une meilleure efficacité du suivi des évaluations des risques et des actions de prévention. Par ailleurs, depuis un an, un service Qualité Sécurité Environnement (QSE) a été mis en place au département R&D afin de déployer des actions de prévention. Ceci montre une volonté de l'entreprise de prendre en charge la question de la santé et de la sécurité dans les laboratoires. En effet, des changements fréquents d'acteurs au sein du CHSCT et de la médecine du travail pouvaient fragiliser la pérennisation des actions de prévention. Plusieurs actions témoignent d'une prise en charge de la sécurité et de la santé au travail dans le système de prévention de cette entreprise : causerie sécurité, formations aux risques chimiques, aux CMR, visites régulières de sécurité sur les postes de travail (tous les deux mois, en binôme avec visite de bâtiment), formation PRAP (Prévention des Risques liés à l'Activité Physique) mise en place d'un groupe sécurité au sein du département papier carton. Par ailleurs, l'entreprise possède un système de management de la sécurité avec un référentiel sécurité.

D'un point de vue historique sur l'introduction des nanomatériaux dans cette entreprise, il y a 3 ans, des expérimentations avec nanoparticules ont eu lieu dans un autre laboratoire du département R&D que celui qui fait l'objet de l'intervention. Ces expérimentations ont été abandonnées parce qu'elles ne répondaient pas aux demandes des clients ou suscitaient déjà à l'époque des craintes chez les salariés. Ces craintes avaient été remontées par le médecin du travail et débattues au CHSCT. Ces premières expérimentations n'avaient pas donné lieu à une réflexion relative à la prévention du risque lié aux nanomatériaux dans l'entreprise mais ont participé à l'émergence d'une perception des risques chez certains salariés des laboratoires et chez certains acteurs de l'entreprise. Il a fallu attendre que les produits nanomatériaux entrent dans le laboratoire de tests physico-chimiques pour que les acteurs internes demandent l'intervention d'experts extérieurs à l'entreprise, en l'occurrence l'INRS pour caractériser les nanomatériaux et PACTE pour accompagner la construction d'un dispositif de prévention lié à la manipulation potentielle de nanomatériaux dans le laboratoire.

Il est important maintenant de comprendre le rôle du service commercial dans la genèse de la demande. Celui-ci, sollicité par un client papetier pour tester un produit sous forme nanostructurée (particules de TiO_2 enrobées dans des nanoparticules de CaCO_3) et en étudier les effets sur les caractéristiques du papier en vue d'innovations industrielles, se rapproche du département R&D pour la réalisation d'essais. Ces essais seront confiés au département Applications, et plus particulièrement au laboratoire de tests physico-chimiques, laboratoire faisant l'objet de notre intervention. La fonction principale de ce laboratoire est de caractériser les papiers produits à partir d'une préparation composée de pâte à papier, faite d'eau et d'amidon, selon les critères suivants : cohésion, ionicité, viscosité, pH, imprimabilité, porosité, résistance, opacité, temps d'égouttage, fixation, etc. L'introduction du produit nanostructuré dans la pâte à papier nécessitera des ajustements et des adaptations pour les salariés du laboratoire du fait de sa dangerosité supposée, ces salariés n'étant pas habitués à manipuler des produits chimiques dangereux. En effet, le laboratoire du département R&D,

qui fait l'objet de l'intervention, ne manipule pas de produit chimique, seulement de l'eau et de l'amidon. Aucune bonne pratique sur les risques chimiques n'a été mise en œuvre car l'activité ne l'imposait pas, seule une hotte avait été prévue pour des évolutions possibles de l'activité.

5.3.2. La démarche d'intervention : des entretiens, des observations, des simulations

Afin de comprendre les représentations du risque lié aux nanomatériaux, des entretiens semi-directifs (16) ont été menés avec différents acteurs de l'entreprise (responsable sécurité, membres du CHSCT, médecins du travail, animateurs/correspondants sécurité, toxicologue, responsables des laboratoires, agent de maîtrise, personnels du laboratoire partie humide) à partir d'un guide d'entretien préalablement défini. Parmi les thèmes abordés, le parcours professionnel, le contexte de travail et le contenu des tâches, le modèle du risque lié aux nanomatériaux, les modalités de prévention des autres risques, les relations au sein de l'équipe, avec la hiérarchie et les acteurs de prévention ont particulièrement retenu notre attention.

L'analyse de ces entretiens a permis de réaliser un état des lieux de la situation actuelle : « histoire » des nanomatériaux dans l'entreprise, mobilisation des acteurs sur cette question, différences de représentations du risque lié aux nanomatériaux, dispositif de prévention existant, évolution de l'entreprise, de son management et du fonctionnement organisationnel. Ces entretiens ont été l'occasion de recueillir des informations et des documents relatifs à la démarche globale de prévention des risques dans l'entreprise (module de formation, document unique d'évaluation des risques professionnels, politique sécurité, analyse des accidents, etc.).

En parallèle à ces entretiens semi-directifs, des observations ouvertes et systématiques de l'activité de travail ont été réalisées dans le laboratoire de tests. Notre objectif était de comprendre l'activité de travail, plus exactement d'identifier les sources de variabilité (étude interne/étude client, mode dégradé) et la diversité des pratiques à prendre en compte dans l'activité future d'utilisation des nanoparticules afin d'anticiper les effets des transformations des situations de travail sur l'activité des salariés.

En premier lieu, une situation d'expérimentation avec manipulation du produit nanostructuré (TiO₂ pigmentaire enrobé dans du CaCO₃ sous forme nanométrique) a été observée, à l'initiative de l'entreprise et a fait l'objet d'un débriefing collectif avec l'ensemble des personnes présentes lors de l'observation : personnels et responsable du laboratoire, responsable sécurité, membre du CHSCT.

Cette situation d'expérimentation, malgré son caractère exceptionnel (nombreux observateurs, situation non anticipée par les salariés d'exposition aux nanomatériaux), a permis d'analyser les premières difficultés de manipulation du produit nanostructuré et les questionnements des salariés vis-à-vis de sa manipulation.

Une première restitution a eu lieu après la réalisation des entretiens semi-directifs et l'observation de la première situation d'expérimentation. Les salariés du laboratoire, les responsables du laboratoire et du département R&D et les acteurs de prévention de l'entreprise (responsable sécurité et membre du CHSCT) étaient présents. Les trois éléments suivants : convergences et divergences des représentations du risque lié aux nanomatériaux, histoire des nanomatériaux dans l'entreprise et mobilisation des acteurs autour de cette question, ont été discutés et ont servi d'aide à la construction sociale du projet de prévention des risques liés aux nanomatériaux par :

- La négociation de la suite de l'intervention.
- La mise en place d'un comité d'experts⁴ interne dont l'objectif était de structurer et formaliser une démarche de prévention des risques liés aux nanomatériaux.
- La mise en place d'un comité opérationnel⁵ dont la mission était de proposer au comité d'experts des solutions de prévention, basées sur les observations des activités de travail et les entretiens d'auto-confrontation.

A partir de l'observation ouverte de cette situation d'expérimentation, ont été identifiées plusieurs situations de travail existantes, dites « situations de référence », auxquelles sont confrontés quotidiennement les salariés du laboratoire et dont l'analyse était pertinente pour envisager les conditions de l'activité future avec nanomatériaux. Six situations de référence ont été définies correspondant au process de réalisation des essais : préparation de la pâte (c'est-à-dire du mélange des produits rentrant dans la composition du papier) ; mesure du potentiel zéta (qui représente la charge électrique qu'une particule acquiert grâce aux ions qui l'entourent quand elle est en solution) ; fixation de l'amidon ; égouttage ; élaboration des formettes de papier et réalisation des tests physiques.

Des observations systématiques de ces six phases d'activité (20h d'observations, soit 4,5 jours dans le laboratoire) ont été réalisées. Dans ce laboratoire, on trouve un homme et trois femmes, qui sont plutôt âgés et avec une ancienneté élevée dans l'entreprise (cf. Tableau 2).

Personne	Activité principale	Age	Ancienneté
Agent de maîtrise	Partie humide	61 ans	38 ans
Technicienne (quittera le laboratoire au cours de l'intervention)	Partie humide	44 ans	21 ans
Laborantine Partie humide	Partie humide	39 ans	6 ans (16 ans dans l'entreprise)
Laborantine Tests physiques	Tests physiques	51 ans	27 ans (32 ans dans l'entreprise)

Tableau 2 : Caractéristiques des personnes observées

Il s'agissait alors d'identifier les « situations d'action caractéristiques futures probables, classes de situations que les opérateurs auront vraisemblablement à gérer dans le futur » (Daniellou, 2004) afin de les prendre en compte lors de la recherche de moyens de prévention liés aux nanomatériaux. Ces observations ont fait l'objet de prises de notes papier-crayon suffisamment importantes pour un traitement descriptif prévu par la suite.

L'observation de la situation d'expérimentation avait également permis de commencer à identifier les pratiques en termes de manipulation et de prévention, les phases d'activité les plus à risque ainsi que les premières difficultés rencontrées lors de la manipulation du produit

⁴ Le comité d'experts était composé d'acteurs dits « décideurs » : responsable laboratoire, responsables études toxicologiques et écotoxicologiques, responsable R&D, responsable sécurité, responsable Qualité Sécurité Environnement R&D, médecin du travail

⁵ Le comité opérationnel était composé du responsable et des salariés du laboratoire.

nanotstructuré. Les observables suivants ont donc été choisis afin d'analyser plus finement les activités et les stratégies pour prévenir les risques :

- Description précise des actions réalisées : quoi ? comment ? avec quel matériel ? quels EPI ?
- Gestes et postures
- Déplacements
- Communication, interaction avec les autres personnes du laboratoire ou avec l'extérieur

Ces observations systématiques ont enfin servi de supports pour produire des verbalisations de la part des salariés. Cinq entretiens d'auto-confrontation ont été conduits afin de valider avec les salariés les observations faites et envisager pour chaque phase d'activité les ajustements nécessaires pour la manipulation du produit nanostructuré.

Une réunion collective avec l'ensemble des membres du laboratoire, appelé comité opérationnel, a ensuite été organisée visant à confronter les différentes propositions de prévention identifiées par les salariés du laboratoire lors des entretiens d'auto-confrontation simple. Cette projection dans le futur a été l'occasion de nombreux échanges entre les acteurs opérationnels afin d'évaluer les différentes propositions de solutions de prévention et leurs conséquences sur leur activité future de travail.

A la fin de cette étape, une seconde situation d'expérimentation a été observée dans les mêmes conditions mais sans manipulation de nanomatériaux, afin d'évaluer les améliorations apportées dans le travail et la prévention et d'identifier les difficultés restantes.

La seconde restitution au comité d'experts a eu lieu après les phases d'observations systématiques des activités de travail et de construction collective des solutions de prévention et la deuxième expérimentation. Elle avait pour objectif de leur présenter les propositions du comité opérationnel pour les valider.

Enfin, une seconde phase d'entretiens individuels (9 entretiens) a été réalisée sept mois après avec le même guide d'entretien et avec certaines des personnes initialement rencontrées. Ces entretiens avaient pour but d'identifier, dans le discours, les transformations des représentations du risque lié aux nanomatériaux et les manières de faire de la prévention ou de se protéger.

5.3.3. Les effets de l'intervention sur les changements de représentations des risques liés aux nanomatériaux et les actions de prévention

Afin de montrer l'importance de prendre en compte les représentations des risques et leur lien avec l'activité de travail pour concevoir une activité future de manipulation de nanomatériaux associant des actions de prévention, nous avons organisé nos résultats en trois points : 1/ rendre compte des divergences de représentations initiales des salariés sur les risques liés aux nanomatériaux avec celles des acteurs décideurs, 2/ montrer comment la mise en visibilité du travail réel a permis de poser des questions sur la sécurité et de se projeter dans la situation future, 3/ montrer en quoi l'action sur la conception du travail futur et la prévention a contribué à des changements de représentations qui participent à un début de construction sociale de gestion des risques dans l'entreprise.

1/ Une situation initiale conflictuelle qui s'explique par des différences de représentations

Dans un premier temps, l'analyse des entretiens semi-directifs a permis d'accéder aux obstacles de l'introduction d'un nouvel adjuvant sous forme nanostructurée dans les produits manipulés dans le laboratoire. Ces obstacles reposent sur deux types de représentations du risque lié aux nanomatériaux entre les différents acteurs rencontrés : une représentation relevant de la peur et du principe de précaution pour les salariés, une représentation relevant du déni du risque et de gestion au cas par cas pour les directions.

Mais avant de rentrer dans le détail de ces représentations divergentes sur le risque lié aux nanomatériaux, reprenons les mesures faites par le laboratoire de métrologie des aérosols de l'INRS. Celles-ci entrent dans le cadre de la stratégie développée récemment pour évaluer les expositions professionnelles aux aérosols lors d'opérations mettant en œuvre des nanomatériaux (Witschger & al., 2012). Les essais réalisés ont porté sur la détermination de la propension des poudres à émettre un aérosol (dustiness). Différentes poudres ont été utilisées : poudre de CaCO₃ seul sous forme nano, poudre de TiO₂ seul et un mélange des 2 poudres correspondant au produit. Réalisés en laboratoire à l'aide du dispositif « nanoduster », ces essais montrent que les aérosols produits couvrent une gamme de taille qui s'étend de quelques centaines de nanomètres à quelques micromètres. Cela suggère que d'un point de vue scientifique, des émissions sur la gamme de taille correspondant à la fraction alvéolaire sont possibles (NF EN 481, 1993).

De ces essais, la direction en a néanmoins conclu que la manipulation de papiers contenant le produit sous forme nanostructurée ne présentait pas plus de risque pour la santé que la manipulation du produit sous forme de poudres avec un risque faible d'inhalation de nanoparticules.

Des mesures de prévention ont néanmoins été évoquées, en particulier par le CHSCT qui souhaite un espace dédié dans le laboratoire pour la manipulation des nanomatériaux avec des équipements de protection collective et individuelle spécifiques.

- Une approche globale et le principe de précaution

Malgré les conclusions de la direction, les craintes de la part des salariés vis-à-vis de la manipulation de ces objets avec des particules fines semblent perdurer. En effet, les salariés du laboratoire qui seront à proximité des nanoparticules, ou susceptibles d'être exposés à ce risque, invoquent le principe de précaution. Ils ressentent des craintes, des inquiétudes qui les amènent à une situation de blocage envers la manipulation de ces particules.

« *Les nanos, tant qu'on ne sait pas, il vaut mieux s'en méfier* » (agent de maîtrise).

« *On s'inquiétait pour notre santé* » (technicienne).

« *Les nanos, c'est l'amiante de demain* » (agent de maîtrise).

De plus, ces craintes sont partagées collectivement au sein de l'équipe de travail du laboratoire et relayées par les partenaires sociaux.

« *J'ai peur pour les gens qui devraient en manipuler de façon permanente, en grosse quantité* » (agent de maîtrise).

« *On se soucie des uns des autres* » (technicienne).

« *Il est hors de question qu'on signe un chèque en blanc* » (membre du CHSCT).

Cette situation de blocage apparaît également provenir d'une sensibilité individuelle issue d'évènements personnels ou professionnels antérieurs (par exemple, perte d'un parent d'une silicose). Certains opérateurs ont par ailleurs une connaissance précise de leurs droits et de la réglementation liés au travail.

- Une approche au cas par cas et une prévention adaptée

Les acteurs décideurs privilégient l'approche « au cas par cas » des nanomatériaux et souhaitent des mesures de prévention adaptées à chacun d'entre eux.

« D'autres précautions seraient à prendre pour d'autres molécules de structure différente » (responsable laboratoire).

« Il faut adapter au risque réel » (responsable laboratoire).

« Y'a des nanos qu'on trouve dans la nature et on vit avec » (responsable laboratoire).

Certains négligent même ce risque par rapport à d'autres risques (Drais, 2009). En référence aux travaux de Kouabenan (2006), les acteurs décideurs sont davantage dans un déni du risque, dans un laisser-faire par rapport à leur responsabilité de prévention. Cette conduite des décideurs peut accentuer le conflit de représentations entre les décideurs et les salariés.

L'identification de représentations contrastées du risque entre les opérateurs et leur hiérarchie explique en partie la situation de blocage : les opérateurs refusent de manipuler le produit nanostructuré par crainte pour leur santé, les acteurs décideurs essaient de dédramatiser ou sont dans un déni de ce risque. Paradoxalement, ce conflit de représentations, qui initialement constitue un frein à la construction collective d'une démarche de prévention, va devenir un levier pour l'action de prévention.

2/ Des observations qui aident à l'anticipation de l'activité future

a. Une première expérimentation qui pose des questions

L'analyse de la première expérimentation avec l'usage du produit nanostructuré en simulation réelle montre que les personnels du laboratoire se sont mis eux-mêmes dans une situation difficile non anticipée d'exposition aux nanomatériaux.

Lors de cette première expérimentation visant la préparation de la pâte à papier avec adjuvant sous forme nanostructurée, la salariée effectuant cette opération utilise une grande éprouvette graduée. Afin d'homogénéiser correctement le mélange, elle renverse plusieurs fois l'éprouvette en bouchant l'ouverture avec la paume de sa main. L'étanchéité n'étant pas parfaitement réalisée, des écoulements de la pâte sur les gants et sur les avant-bras de la salariée et sur le plan de travail sont observés.

Il n'y a ici pas d'utilisation de bonnes pratiques ou de procédures, comme par exemple garder les produits contenant des nanomatériaux dans un récipient fermé ou appliquer une serviette ou un tissu humide sur la surface de travail de sorte que les nanomatériaux échappés y soient collectés lors de pesées ou de transfert (IRSST, 2014, p. 61). D'une part parce que les salariés ont fait l'expérimentation sans se poser la question des pratiques de sécurité à mettre en œuvre spécifiques aux nanomatériaux ou empruntant aux risques chimiques, alors que leur perception des risques relève de la crainte d'être exposé et du principe de précaution. D'autre part parce que les acteurs de prévention de l'entreprise participant à cette expérimentation n'ont pas non plus posé de principes de manipulation ou de procédures spécifiques à l'usage de nanomatériaux. Rappelons que le produit était liquide et que les nanopoudres étaient déjà

mélangées, ce qui pouvait induire une perception de faible prise de risque pour les salariés et les acteurs de la prévention.

Cet incident a été ensuite débattu lors du débriefing collectif qui a suivi cette expérimentation : l'éprouvette sera remplacée par une fiole jaugée avec bouchon, quelles que soient les manipulations réalisées, avec ou sans produit nanostructuré. Par ailleurs, la construction d'une procédure pour nettoyer les déversements de produit et les EPI à mettre en œuvre a fait l'objet d'une première réflexion collective.

Cela a permis de mettre en évidence plusieurs difficultés et a fait émerger de nouvelles questions pour les manipulations futures de produits sous forme nanostructurée :

- Est-ce qu'on fait comme d'habitude ou faut-il changer nos pratiques ?
- Quels sont les matériels adaptés (éprouvette) ?
- Comment mettre le masque ?
- Comment gérer les éventuelles perturbations (éclaboussures, dysfonctionnement agitateur magnétique, déplacements) ?
- Que faire des déchets ?
- Qu'est-ce qu'un bon nettoyage (verrerie, plan de travail) ?
- Faut-il laisser filer l'eau « contaminée » dans le siphon ?
- La femme de ménage sera-t-elle exposée quand elle nettoiera le sol où il y a eu des projections/éclaboussures de produit nano ?

b. Des observations systématiques et une deuxième expérimentation qui amènent à débattre sur l'activité réelle

Les observations systématiques des six situations de référence de l'activité de travail ont également permis de mettre en évidence :

- De fortes interactions entre les salariés du laboratoire et d'autres salariés de l'entreprise.
 - De nombreux échanges informels ont lieu entre les membres du laboratoire à propos des études qu'ils réalisent, des manipulations, des actualités de l'entreprise, etc.
 - Ils reçoivent également régulièrement de la visite, des personnes venant simplement leur dire bonjour, emprunter du matériel, déposer des produits pour des études, etc.
 - La femme de ménage est présente systématiquement tous les matins.
- Des écarts entre les activités réelles et les modes opératoires prescrits, surtout dans le non port des EPI parce que ce n'est pas pratique pour travailler ou que cela renvoie paradoxalement à un sentiment d'être en situation de risque d'exposition.
- Des déplacements importants du fait de la configuration des locaux, essentiellement entre le lieu de la manipulation et les éviers, qui ne sont pas à proximité des paillasses.
- Des différences de pratiques, de gestes professionnels entre les salariés du laboratoire.

Ces observations ont favorisé un débat sur les modes opératoires à construire lors du débriefing après la seconde expérimentation. La 2^{ème} expérimentation est une simulation fictive avec une poudre ne contenant pas de produit nanostructuré. Un salarié est observé lors de la préparation de la pâte : il pèse la poudre sur un morceau de carton, puis la verse à l'aide du carton et d'un entonnoir dans une fiole jaugée. Pour certains des observateurs présents (chercheur, salariés et responsable du laboratoire, responsable R&D, responsable sécurité), cette façon de procéder semble comporter des risques : la poudre peut tomber à côté de la

fiolle. De plus, les observateurs constatent qu'une certaine quantité de poudre reste accrochée sur le carton.

Lors de l'observation systématique de cette même opération dans les situations quotidiennes de manipulation, d'autres pratiques ont été identifiées. Par exemple, un salarié pèse la poudre sur une feuille de papier et verse ensuite cette poudre dans une fiole jaugée à l'aide d'un entonnoir tandis qu'un autre pèse la poudre directement dans la fiole jaugée.

Ces résultats d'observations systématiques ont été l'occasion de débattre au sein de l'équipe sur les façons de manipuler la poudre, qui sera demain sous forme nanostructurée.

Ainsi, les situations d'expérimentation, confrontées avec les résultats d'analyse des observations systématiques des activités réelles actuelles de travail, ont favorisé les échanges collectifs sur les moyens à engager pour faire dans le futur la manipulation avec des produits dangereux.

c. Vers une recherche de moyens de prévention

La confrontation des salariés à leur activité de travail leur a permis d'envisager l'activité future avec manipulation du produit sous forme nanostructurée et de proposer, individuellement puis collectivement, des mesures de prévention (cf. tableau 3) qui ont été validées par la suite par le comité d'experts interne à l'entreprise. Nous remarquons que la plupart des actions de protection et de sécurité proposées par les salariés sont proches des procédures utilisées dans la gestion des risques chimiques, et plus récemment des bonnes pratiques promulguées en laboratoire pour la manipulation des nanomatériaux. Mais la démarche pour y arriver n'a pas été descendante mais ascendante, à partir des pratiques réelles de terrain, permettant une appropriation des changements par les salariés et des transformations des représentations, comme nous le verrons dans la partie suivante.

Thème	Propositions de solutions de prévention
Espace de travail	<ul style="list-style-type: none"> • Gain de place sur les paillasse • Déplacement ou suppression du « simulateur » • Réaménagement des espaces bureautiques • Manipulation du produit près de la sorbonne (espace délimité) • Limitation des déplacements
Manipulation	<ul style="list-style-type: none"> • Sous la sorbonne : préparation slurry, matière sèche • Pot twist off fermé • Barreaux aimantés neufs • Pot inox 500ml poste d'agitation fixation • Nettoyage par voie humide
Formation et Information	<ul style="list-style-type: none"> • Formation du personnel du laboratoire au port des EPI (habillage/déshabillage) • Formation du personnel de ménage • Information par affichage lors des manipulations • Information du personnel de maintenance
EPI	<p>A adapter en fonction de l'exposition et des différentes phases de manipulation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Masque • Gants • Lunettes • Blouse et surblouse

Tableau 3 : Solutions de prévention proposées par le comité opérationnel

Les salariés ont pu ainsi repérer une phase potentiellement plus à risque que les autres : la phase de préparation de la pâte, où le produit nanoparticulaire pourrait être sous forme de poudre alors que pour les autres opérations, il sera en phase liquide et fortement dilué, même s'il existe des risques de déversement ou d'éclaboussure comme l'a montré la première expérimentation. La discussion entre eux a conduit à réaménager les espaces de travail pour créer une zone près de la sorbonne dédiée à la manipulation du produit nanostructuré.

La mise en œuvre du réaménagement des espaces de travail par les salariés a permis :

- Un gain de place sur les paillasse rendu possible par l'enlèvement du « simulateur », machine qui reproduisait toutes les étapes de production du papier mais qui n'avait pas été utilisée depuis 3 ans.

La suppression de ce simulateur a également eu comme conséquence imprévue une amélioration de l'éclairage du laboratoire par lumière naturelle : en effet, le simulateur faisait auparavant obstacle à cette lumière naturelle.

- Une séparation entre les espaces bureautiques et les espaces de manipulation, permettant de limiter les pollutions éventuelles sur le matériel informatique.
- La création d'un espace « dédié » à la manipulation des nanoparticules auprès de la sorbonne. Tous les essais pourront être réalisés dans cet espace à l'exception de l'égouttage et de l'élaboration des formettes de papier, ceci afin de limiter les déplacements avec des solutions contenant des nanoparticules.
- La diminution des déplacements entre les paillasse et les éviers par le réaménagement des paillasse.

L'innovation organisationnelle produite autour de ce réaménagement des espaces de travail améliore les conditions de travail des salariés et la prévention des risques professionnels liés à la manipulation des nanomatériaux mais s'élargit également à une prévention plus globale des autres risques (diminution des déplacements, limitation des pollutions éventuelles sur le matériel informatique, etc.).

La prise en compte des activités de travail dans la conception d'une démarche de prévention des risques liés aux nanomatériaux a permis de tenir à la fois l'amélioration de l'activité quotidienne et l'anticipation d'une activité avec l'usage de nanomatériaux.

Les discussions sur les actions futures participent à des changements de représentations des opérateurs et des acteurs décideurs sur la nécessité de construire une prévention singulière pour l'activité de production en laboratoire.

3/ Des changements de représentations issus de l'action de conception d'une démarche de prévention adaptée à la manipulation future de nanomatériaux

Au début de l'intervention, les opérateurs du laboratoire avaient des craintes et des inquiétudes concernant la manipulation de produit sous forme nanostructurée et invoquaient le principe de précaution. Ils ont évolué dans cette représentation du risque. Les entretiens réalisés avec eux sept mois après le début de l'intervention montrent en effet qu'ils sont moins dans la crainte.

« Avant on n'aurait jamais pensé à travailler ces produits, on est plus à l'aise » (laborantine).

« On ne part plus à l'aveuglette, beaucoup de précautions ont été prises » (agent de maîtrise).

« On voyait l'édifice qui se construisait, on voit le cheminement » (responsable laboratoire).

« *Y'a plus de communication, y'a moins de choses de cachées. Y'avait une barrière entre la base et le haut, elle est un peu rompue* » (laborantine).

« *Ce qu'on a mis en place, on espère tous que ça servira à d'autres labos* » (responsable laboratoire).

Leur représentation d'une prévention du risque lié aux nanomatériaux est mise davantage en lien avec leur activité possible dans le processus de fabrication. De plus, le conflit de logiques avec la direction s'est atténué et le dialogue semble davantage possible.

Le CHSCT, qui souhaitait au départ la création d'un espace dédié spécifique à la manipulation du produit nanostructuré (physiquement isolé du reste du laboratoire, avec du matériel dédié et le port intégral des équipements de protection individuelle), a compris l'importance d'intégrer cette nouvelle activité dans les activités quotidiennes du laboratoire. La tension avec la direction s'est apaisée.

Du côté des acteurs décideurs, le changement de représentation est moins important que celui des salariés. Certains ont pris conscience de l'activité des laborantins : « *On se rend compte, on ne peut pas le deviner derrière un écran* » (responsable études toxicologiques et écotoxicologiques).

Le déni du risque s'accompagne d'une non reconnaissance du travail réalisé par les salariés et de leur cheminement dans le cadre de l'intervention pour les directions, ainsi que l'entretien de routines et de tensions par rapport aux relations avec les partenaires de l'entreprise :

« *Ils avaient une volonté de blocage, quel que soit le sujet : « vous ne ferez pas ce que vous voulez, on est là, on a des représentants et on bloque* ». *Ils ont fait machine arrière quand ils ont su que la volonté du CHSCT était un espace dédié* » (responsable laboratoire).

« *Les aménagements, c'est du PRAP, on aurait pu le faire sans vous* » (responsable QSE R&D).

5.3.4. Synthèse sur le cas d'intervention à propos des articulations entre action et représentation pour concevoir un dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux

On observe des transformations des représentations du risque lié aux nanomatériaux chez les salariés ainsi que des propositions d'améliorations techniques et organisationnelles (équipement, espaces de travail, procédures, etc.) de leurs situations de travail actuelles mais aussi futures. Ces transformations observées des représentations du risque et de la façon de concevoir une démarche de prévention sont cependant différentes entre les salariés du laboratoire et les acteurs décideurs. Les transformations les plus notables sont mises en évidence chez les salariés qui reprennent peu à peu confiance dans le système et en leur hiérarchie alors que certains acteurs décideurs restent plutôt sur leur position initiale.

Les changements de représentation du risque lié aux nanomatériaux chez les salariés avec le passage de la précaution à la prévention peuvent s'expliquer en partie par la méthodologie d'intervention. Celle-ci a invité les salariés à échanger sur leur activité réelle et à rechercher collectivement des solutions de prévention à partir de leur perception du risque et de leurs pratiques professionnelles. Leur possibilité d'agir collectivement, initiée par le processus d'intervention ergonomique, les a conduit à des transformations de leurs représentations à deux niveaux :

- D'une part des représentations du risque lié aux nanomatériaux : d'une représentation « générale » négative les amenant à un refus de manipuler des nanoparticules à une représentation en lien avec leur quotidien et leur activité de travail, leur permettant d'envisager comme possible la manipulation future du produit nanostructuré dans des conditions sécurisées.
- Et d'autre part des représentations de leurs propres ressources pour faire face à ce risque émergent : d'une position d'opposition vis-à-vis des acteurs décideurs à une position active d'un collectif d'opérateurs capable de faire des propositions d'actions concrètes de prévention.

Nous pensons qu'il est nécessaire de disposer de lieux où les différents acteurs de l'entreprise puissent confronter les connaissances opératives (pratiques professionnelles, difficultés rencontrées, etc.) aux connaissances techniques et scientifiques (nanotoxicité, caractérisation et mesurage des expositions, efficacité des dispositifs de protection, réglementation), et ce d'autant plus dans un contexte d'innovations et d'incertitudes.

5.4. Des transformations des représentations et des actions de prévention des risques liés aux nanomatériaux dans le milieu industriel issues des espaces de discussion sur le travail

Nous avons montré dans la partie précédente à travers un cas d'intervention sur la conception de la prévention du risque lié aux nanomatériaux dans l'entreprise industrielle A que les transformations de représentations étaient déterminées par l'action (activité de travail de manipulation de nanomatériaux et projection dans l'activité future) et nous avons commencé à comprendre que les échanges entre les salariés sur leur travail participaient à ces changements de représentation du risque. Dans cette partie, nous partirons d'un autre cas d'intervention en milieu industriel, l'entreprise B, pour montrer l'importance des espaces de discussion sur le travail comme une ressource pour la prévention des risques en termes d'évolution de la perception des risques et de construction d'actions de protection et de sécurité dans un contexte d'innovations et d'incertitudes.

Rappelons que les espaces de débat sur le travail, appelés « espaces de discussion » par Detchessahar (2011), sont, pour lui, des lieux d'arbitrages répétés entre les acteurs, de coordination de leur intelligence afin de produire des accords locaux et révisables permettant pour un temps de faire le travail. A l'issue de l'analyse des résultats de l'intervention dans l'entreprise B nous répondrons à l'hypothèse selon laquelle les espaces de discussion sur le travail sont des instruments pour transformer les représentations du risque lié aux nanomatériaux et concevoir le dispositif de prévention.

Pour exposer ce cas d'intervention, nous présentons le contexte de l'entreprise. Puis après un bref rappel de la méthodologie, les résultats portent sur le rôle des espaces de discussion sur la transformation des représentations du risque lié aux nanomatériaux et sur les transformations de l'action, notamment la production de règles collectives pour se protéger vis-à-vis du risque.

5.4.1. Contexte d'intervention de l'entreprise B

La demande initiale d'intervention sur la conception d'une prévention des risques liés aux nanomatériaux est portée par le responsable opérationnel d'une plate-forme de transfert technologique qui souhaite sécuriser les process existants et évaluer les expositions des salariés aux nanoparticules, en particulier lors de certaines phases d'opérations (bobinage, chauffage). La plate-forme, créée en 2009, produit des composites nanostructurés, de la matière première au produit fini. Elle a un projet d'extension, avec l'arrivée de nouvelles activités qui se faisaient jusqu'ici dans d'autres laboratoires. Nous leur proposons d'analyser les pratiques actuelles des salariés pour améliorer l'existant mais aussi nourrir le projet d'extension en termes d'organisation du travail, d'aménagement des espaces de travail, de formalisation des modes opératoires, etc. et anticiper les besoins futurs en matière de prévention et protection par rapport aux risques liés aux nanomatériaux.

Cette plate-forme occupe quatre sites géographiques différents, le site principal étant hébergé dans un bâtiment universitaire. Son activité est organisée autour de cinq départements : quatre départements techniques (technologies et matériaux composites, technologies de filage, technologies pour couches minces, caractérisation et contrôle non destructif) et un département formation.

Du fait de la jeunesse de la structure, beaucoup d'éléments restent à préciser en termes d'organisation :

- Management : réunion d'équipe, objectifs, actions transversales
- Prévention : document unique d'évaluation des risques professionnels, personne référente, animateur
- Maintenance : périmètre des responsabilités entre la plateforme et l'école les hébergeant

Quinze salariés travaillent sur la plate-forme, 3 salariés « administratifs » et 12 salariés « manip ». Les salariés sont en interaction fréquente avec les deux responsables prévention de l'université hébergeant le site principal. Ces deux salariés « école » sont intégrés à la démarche.

Les salariés « manip » sont tous ingénieurs ou docteurs en chimie des matériaux, à l'exception d'un technicien. Ils ont réalisé majoritairement leur parcours professionnel dans des laboratoires de recherche universitaire, quelques-uns ont tout de même une expérience en industrie. Du fait de leur formation et expériences professionnelles, ils ont l'habitude de manipuler des produits chimiques dangereux (solvants, résines époxy, styrène, nanomatériaux).

5.4.2. La démarche d'intervention

Afin de comprendre les représentations du risque lié aux nanomatériaux, des entretiens individuels semi-directifs (13) ont été menés avec différents acteurs : responsable opérationnel, responsable montage projets, salariés de la plate-forme et responsables prévention de l'université, à partir d'un guide d'entretien préalablement défini. Ce guide portait sur le parcours professionnel, le contexte de travail et le contenu des tâches, le modèle du risque lié aux nanomatériaux, les modalités de prévention des autres risques, les relations au sein de l'équipe, avec la hiérarchie et les acteurs de prévention. Ces entretiens ont été enregistrés et retranscrits intégralement. L'analyse de ces entretiens a permis de réaliser un état des lieux de la situation actuelle : histoire, organisation et fonctionnement de la plate-forme, questionnement et implication des acteurs sur la question des nanomatériaux, représentations du risque lié aux nanomatériaux, dispositif de prévention existant, etc.

Ces entretiens ont été aussi l'occasion de recueillir des documents relatifs à la démarche globale de prévention des risques de la plate-forme: analyse de risques, document unique d'évaluation des risques professionnels, consignes de sécurité, documents techniques en lien avec le projet d'extension, etc.

En parallèle à ces entretiens semi-directifs, des observations globales et systématiques des activités de travail ont été réalisées dans les quatre départements techniques (cf. tableau 4). Notre objectif était de comprendre l'activité de travail et d'analyser les pratiques professionnelles, notamment les phases délicates, le rapport aux équipements, les communications et relations, les pratiques sources d'exposition, les savoir-faire de prudence, etc.

Une première restitution collective a eu lieu à l'issue des entretiens semi-directifs et des observations, en présence de tous les acteurs mobilisés dans la démarche. Les éléments suivants : « jeunesse » de la structure et organisation à préciser, grande autonomie des salariés sur les aspects qualité, sécurité et santé mais des interrogations face aux risques qui restent sans réponse, ont été discutés et ont servi d'aide à la construction de la suite de l'intervention. Deux orientations ont été prises :

- La poursuite de l'analyse de l'activité de travail combinée à un dispositif de métrologie des expositions professionnelles, cette partie de l'intervention relevant de l'ergotoxicologie ne fait pas l'objet de cette présentation (Galey, 2013).
- Un travail de recensement des questions des salariés autour des quatre thèmes suivants, identifiés lors de la restitution : maintenance, déchets, flux et EPI (Equipement de Protection Individuelle).

Type activité observée	Nb. opérateurs observés	Observation ouverte ou systématique (O/S)	Durée des observations
Pesée des poudres de nanotubes de carbone (NTC)	2	S	½ jr
Opération de dispersion des poudres de NTC dans un polymère	2 (ensemble)	S	½ jr
Réalisation de fibres – procédé filage à froid	2 (ensemble)	S	2 jrs
Nettoyage pilote filage à froid	2 (ensemble)	O	
Réalisation de fibres – procédé filage à chaud	1	S	½ jr
Production de granulés nanochargés	1	O	½ jr
Réalisation de dépôt par couche mince	1	O	½ jr
Département caractérisation et contrôle non destructif	1	O	½ jr

Tableau 4 : Synthèse des observations ouvertes et systématiques réalisées

Une deuxième restitution collective a été organisée afin de présenter le résultat du recensement des interrogations des salariés et proposer une organisation pour traiter ces questions. Il a été décidé de constituer quatre groupes de travail sur les quatre thèmes identifiés, tous les salariés de la plate-forme à l'exception du responsable montage projets participant à l'un des groupes de travail. Les deux responsables prévention de l'université ont également souhaité intégrer les groupes de travail.

Ces groupes de travail se sont réunis 4 à 5 fois, durant 1h30 à chaque fois. La première réunion de chacun des groupes a été l'occasion de décrire l'existant et d'aborder les difficultés rencontrées en lien avec le thème abordé. Les réunions suivantes avaient comme objectif la recherche de solutions aux problèmes abordés, en s'appuyant sur des situations concrètes d'activités de travail évoquées par les salariés ou par l'animateur de ces réunions, à partir des observations réalisées et des interrogations recueillies. Ainsi, ce qui s'est produit dans ces échanges collectifs relève de la méthode de la confrontation collective au sens de Mollo & Nascimento (2013). Cette forme d'activité réflexive collective permet l'explicitation des représentations et la construction de savoirs partagés via le partage d'expériences individuelles. Il s'agissait en effet de mobiliser les salariés à partir des traces de leur activité réelle et de les mettre en situation d'acteur.

Une troisième restitution collective a eu lieu, permettant à chaque groupe de travail de présenter aux autres groupes son avancement, les solutions déjà définies et les points en suspens.

Enfin une restitution à la direction a été organisée, en présence d'un membre de chacun des groupes de travail. Il s'agissait de présenter le travail réalisé dans les différents groupes et faire valider les solutions retenues.

Toutes ces restitutions collectives et réunions des groupes de travail ont été enregistrées et retranscrites intégralement. L'analyse qualitative de ces données nous a permis d'identifier quatre catégories relatives au contenu, à ce qui se dit dans ces réunions :

- le prescrit (contexte, description de ce qui se fait, comment ça fonctionne, la tâche) ;
- le réel (difficultés, ce qui ne va pas, contraintes, exigences) ;
- le travail collectif ;
- le futur (recherche de solutions, anticipation).

Une analyse quantitative permettra d'observer l'évolution, dans le temps, des prises de parole suivant les différentes catégories et sous-catégories.

5.4.3. Des espaces de débats sur le travail ayant des effets sur des changements de représentation du risque lié aux nanomatériaux

Lors des entretiens, les salariés associent les nanomatériaux à des « *poussières* » ou « *particules ultra-fines* ». Ils partagent le postulat qu'« *il n'y a plus de risque à partir du moment où les nanomatériaux sont incorporés dans des matrices polymères* » et pensent que globalement les installations sur lesquelles ils travaillent sont conçues de façon sécuritaire pour manipuler des nanomatériaux. Cette phase d'entretiens semi-directifs laisse donc penser que les salariés partagent une représentation commune du risque lié aux nanomatériaux.

Nos observations de certaines phases d'activité sur le terrain, par exemple la pesée des nanotubes de carbone sous forme de poudre, montrent des façons de faire différentes entre les salariés (cf. tableau 5), qui relèvent de perception des risques différenciée. L'un des opérateurs observés pèse en mettant directement la poudre prélevée à l'aide d'une spatule dans le bécher qui est sur la balance alors que son collègue verse la poudre dans le bécher à l'aide d'un entonnoir puis pose le bécher sur la balance pour peser et répète l'opération plusieurs fois. Cette deuxième façon de réaliser l'activité de pesée engendre des manipulations supplémentaires de contenants dans un espace réduit et des risques de faire tomber de la poudre sur le plan de travail.

Lorsque nous confrontons ces 2 opérateurs à leur activité et aux différences observées de façons de faire (Galey, 2013), ils s'accordent pour désigner l'opération de prélèvement de poudre de nanotubes de carbone dans le fût comme étant l'opération la plus à risque. Cependant, on constate que le second opérateur qui perçoit la situation comme plus préjudiciable pour sa santé prend davantage de précautions sur certaines phases : « *Je ne suis pas un grand stressé, mais parmi toutes les manip' qu'on peut faire avec les nanos, ça c'est celle qui me stresse le plus. Et surtout cette première étape du grand fût. (...) C'est l'étape où je fais le plus attention. C'est, oui, ce qui me stresse le plus. Après une fois que j'ai mon tricorné rempli, ça roule.* » La discussion sur les différences de pratiques conduit donc les salariés à s'interroger sur le mode opératoire. Cet exemple met aussi en évidence que les échanges sur les pratiques permettent aux salariés de préciser leurs représentations du risque, ces représentations devant être prises en compte dans la construction des règles de sécurité.

	Opérateur 1	Opérateur 2
Utilisation de la hotte		Fait plus d'opérations sous la hotte Ouverture seau NTC, fermeture des flacons avec parafilm
Prélèvement NTC	Prélève NTC poudre à l'aide du tricorné dans le seau et répète cette opération 3 fois	Verse NTC poudre du seau dans le tricorné et pèse ce dont il aura besoin
Pesée	Flacon sur la balance Pèse 10g NTC à l'aide d'une spatule Verse 190mL eau	Verse NTC dans le flacon à l'aide d'un entonnoir Pèse, répète l'opération et finit à la spatule Idem pour l'eau
EPI	Blouse, lunettes, masque, 2 paires de gants, manchettes	
Déchets	Sac à déchets relié à la hotte plein Reverse dans le seau le reste des NTC	Sac à déchets relié à la hotte plein Reste des NTC dans le tricorné : met du parafilm et stocke sous la hotte

Tableau 5 : Opération de pesée des poudres - comparaison entre 2 opérateurs

Prenons un autre exemple : sur un autre pilote du département Technologies de filage, est installé un système d'aspiration mobile. L'activité sur ce pilote est considérée comme sans risque d'exposition aux nanoparticules par les salariés : « *En haut, peut-être que je me trompe, mais sur le pilote du haut, il n'y a pas trop de risques* ». Lors des observations réalisées conjointement avec des mesures d'expositions, une forte augmentation de la concentration en aérosol de 10nm à 1µm est observée liée à l'utilisation d'un décapeur thermique pour déboucher la filière. Cette situation devient une situation à risque lors de certaines phases de l'activité. Confrontés à ces résultats, les salariés, dans le groupe de travail « Maintenance », s'interrogent sur le bon fonctionnement du système d'aspiration et sur l'état des filtres. Un des membres du groupe de travail, après avoir lu la notice du fabricant fournie en italien, décide de procéder au démontage du système d'aspiration et au remplacement des filtres. Suite à cette initiative, il découvre que le système ne contient pas de filtres HEPA (High Efficiency Particulate Air) préconisés dans le cadre de la prévention des risques liés aux nanomatériaux. Cet exemple met en évidence la façon dont la discussion autour d'un « objet intermédiaire », ici la mesure, transforme les représentations des acteurs et conduit à une remise en question des pratiques, par exemple l'utilisation d'un équipement de protection collective non approprié.

Enfin, ces changements de représentations du risque lié aux nanomatériaux qui naissent lors des échanges entre les différents salariés sont accentués lors de l'arrivée d'un nouveau salarié. Celui-ci, étant moins habitué à la manipulation et à l'exposition aux nanomatériaux, décide d'avoir des vêtements dits « de travail » et donc de se changer en début et fin de journée. Il dépose ensuite ses vêtements de travail au pressing pour leur nettoyage. L'arrivée de ce

salarié amène les autres salariés à s'interroger sur leur exposition au risque et sur la manière de limiter cette exposition à la sphère du travail. Le groupe de travail « EPI », qui a discuté de cette situation, a abouti à la fourniture et au lavage des vêtements de travail par un prestataire extérieur informé de la présence possible de nanomatériaux sur les vêtements.

5.4.4. Des espaces de discussion sur le travail amenant à la production de règles collectives de protection vis-à-vis du risque lié aux nanomatériaux

Comme évoqué précédemment, l'organisation de la plate-forme est encore mal définie et la démarche de prévention des risques reste encore à structurer. Nos observations mettent en évidence une grande autonomie des salariés dans la réalisation de leurs activités avec très peu de règles écrites, de prescriptions. Pour répondre aux enjeux d'innovation, les salariés sont donc amenés à prendre de nombreuses initiatives pour atteindre la production, la qualité et aussi tenir leur sécurité. Mais ces ajustements laissent la place à de nombreuses questions quant aux mesures de prévention à mettre en œuvre et à leur efficacité en fonction des activités réalisées.

La mise en place des groupes de travail, qui résulte de ces interrogations, permet de discuter des pratiques et d'élaborer progressivement et collectivement des règles, parfois écrites sous la forme de procédures ou de consignes de sécurité, mais pas systématiquement. Prenons deux exemples :

Dans le cadre du groupe de travail « Flux », le premier travail réalisé a été de recenser l'ensemble des flux de matière sur les quatre sites, en indiquant la forme (solide, liquide, gaz), la provenance, la destination, le conditionnement et le type de transport. Ensuite, 14 flux ont été identifiés comme à risque par les membres du groupe (sur les 162 flux recensés) et ont fait l'objet d'une recherche de solutions de prévention. L'un des problèmes majeurs sur la plate-forme en termes de flux est la réception de containers de poudres fines non adaptés aux transferts ultérieurs vers les lignes pilotes : pot de petite quantité, simple sac, etc. Des risques de rupture du container lors du transport ou d'exposition de l'opérateur au moment de l'introduction de la poudre dans les équipements sont alors possibles. Les discussions au sein du groupe sur ce problème ont abouti à la définition de contenants standards en termes de capacité, en plastique et résistants aux chutes. Ces contenants sont à utiliser par les salariés de la plate-forme et font partie désormais des exigences de la plate-forme vis-à-vis de leurs fournisseurs de matières premières lors d'une commande.

Autre exemple : la cuve enterrée pour les déchets liquides déborde régulièrement, ce qui provoque une remontée de liquide noir à l'extérieur de la plateforme. Ce dysfonctionnement expose les salariés aux nanomatériaux. La discussion collective sur ce dysfonctionnement, au sein du groupe de travail « Maintenance » a conduit les salariés à mieux comprendre le fonctionnement de la cuve (flotteur, pompe et filtres) et à découvrir qu'il n'y avait pas de système technique permettant de surveiller l'état de colmatage des filtres ni le bon fonctionnement des pompes de vidange. Celles-ci peuvent par exemple se désamorcer en cas de coupure électrique. Suite à ce diagnostic commun, ils ont donc écrit une « note d'information » qui décrit le fonctionnement de la cuve à déchets et précise certaines règles comme le changement des filtres une fois par an ou l'ouverture des bouches d'égout une fois par semaine pour vérifier le niveau de la cuve. Lors de la 3^{ème} restitution collective, cette note a été discutée et de nouveaux éléments sont apparus qui ont été intégrés au document : par exemple, le port de protection respiratoire lors de toute intervention sur la cuve ou encore

l'utilisation d'une aide à la manutention pour soulever les bouches d'égout. On voit ici qu'en l'absence de règles de prévention sur les phases hors production, les salariés ont élaboré leur propre règle, qui est maintenant reconnue par l'entreprise.

5.4.5. Synthèse des résultats sur la perception et la gestion des risques issues des espaces de débat sur le travail

Les débats sur le travail entre les membres des différents groupes de travail ont favorisé la transformation des représentations du risque associé aux nanomatériaux et la construction collective de solutions concrètes de prévention.

La prévention des risques incertains et complexes a donc à gagner en efficacité pour la préservation de la santé des salariés, en construisant des dispositifs méthodologiques qui s'appuient sur des échanges collectifs entre les salariés sur leur pratique réelle et leur représentation, et ainsi les aider à se projeter dans des solutions adaptées pour le futur.

Nous avons interrogé ces espaces de débat comme un instrument de prévention. Nous avons montré que les espaces de débat sur le travail transforment les représentations des différents acteurs de l'entreprise et ouvrent sur l'action, qu'elle soit individuelle ou collective (essais, expérimentations sur les équipements, les postes de travail, l'organisation du travail, etc.). En effet, les discussions qui naissent dans ces espaces, à partir des traces des activités de travail observées et à travers les échanges de connaissances et d'expériences, aboutissent à la construction collective de solutions de prévention à partir d'un diagnostic commun.

Dans le cadre de cette intervention, nous avons montré comment ces espaces de débat sur le travail permettent d'agir sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux, notamment à travers les changements de représentations du risque et la production collective de règles. En revanche, la construction collective de la prévention dans cette entreprise est limitée à long terme du fait d'un faible engagement de la direction. Les espaces de débat mis en place au cours de la démarche se sont arrêtés à la fin de notre intervention par manque d'acteur relais. Cela pose la question de l'ingénierie de ces espaces de discussion qui, en particulier, doivent être animés par un cadre « de et dans l'activité » et inscrits dans le long terme (Detchessahar, 2011).

6. Discussion sur les perspectives scientifiques et pratiques pour prévenir les risques liés aux nanomatériaux

L'objectif de cette partie est de mettre en discussion les résultats de recherche pour dresser des recommandations pour la prévention des risques liés aux nanomatériaux. Cette discussion sera organisée autour de trois points qui nous paraissent essentiels pour orienter l'action de prévention :

- 1/ améliorer la perception des risques chez les salariés et les décideurs à partir de la compréhension de leur activité et la création de débats sur le travail
- 2/ développer la sécurité réglée à travers des objets intermédiaires de discussion sur les risques : place des équipements et des procédures dans la gestion réelle des risques
- 3/ tenir compte du contexte d'incertitude et d'innovation dans la conception du dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux.

Rappelons d'abord que l'originalité de cette recherche est de prendre appui sur l'activité réelle de travail pour concevoir un dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux. Il s'agit donc de partir des usages de manipulation de ces nouveaux objets pour comprendre comment les utilisateurs (ici les chercheurs ou ingénieurs) développent des pratiques professionnelles en fonction leurs propres caractéristiques et de leur environnement de travail (équipement de protection ou non, pression à l'innovation, etc.).

Notre question de départ était : comment concevoir un dispositif de prévention dans un contexte marqué par des incertitudes sur le lien travail-santé et avec des attentes fortes en matière d'innovation ? Un de nos principaux résultats est de montrer qu'il ne faut pas attendre que les connaissances soient stabilisées pour penser la prévention et trouver des moyens d'action de prévention. En effet, il apparaît essentiel de s'appuyer sur la construction d'espaces de débats sur le travail réel pour conduire un projet de prévention sur les risques liés aux nanomatériaux. Nos résultats nous amènent à comprendre dans le processus d'intervention sur la prévention que l'animation d'espaces de discussion sur le travail est une condition indispensable pour faciliter la transformation des représentations des salariés et décideurs, pour élaborer des questions sur les liens travail-santé, pour faire circuler ou construire des objets intermédiaires qui orientent les recommandations sur la santé et la sécurité.

6.1. Améliorer la perception des risques chez les salariés et les décideurs à partir de la compréhension de l'activité et la création de débats sur le travail

Nous souhaitons insister ici sur 4 leviers essentiels qui contribuent à transformer la représentation du risque lié aux nanomatériaux pour une meilleure prise en compte dans les pratiques professionnelles :

- 1/ des représentations qui dépendent de l'activité
- 2/ des transformations des représentations qui viennent des espaces de discussion sur le travail
- 3/ une construction sociale de la prévention, résultat de la création de collectif de travail
- 4/ les actions transforment les représentations

6.1.1. Des représentations qui dépendent de l'activité

La perception des risques liés aux nanomatériaux ne se réduit pas un modèle unique du risque, de ses expositions potentielles et de ses conséquences sur la santé des travailleurs. En effet, les perceptions du risque varient selon l'activité réalisée par les travailleurs : on observe des différences de prise de conscience, de connaissances sur les risques et de préoccupations sur la sécurité selon la discipline exercée. L'activité de travail portant sur la manipulation de nanomatériaux étant différente pour un chimiste versus un physicien, un homme versus une femme, un novice versus un ancien, les représentations du risque lié aux nanomatériaux sont hétérogènes car la réalité n'est pas construite socialement de la même façon (des perceptions différentes de l'exposition, de la prise de risque, des moyens perçus de protection, etc.).

La prévention gagnera en efficacité à analyser le travail en prenant en compte les différences d'activité selon les caractéristiques des travailleurs et leurs situations de travail. Elle a besoin de mieux connaître et reconnaître le rôle que l'activité de chacun joue dans la construction de la perception des risques pour élaborer des messages d'information adaptés aux contraintes relatives à la fonction, au poste occupé, à l'ancienneté et au genre. Améliorer les connaissances sur la nanotoxicité ne peut être fondé sur des messages généraux identiques pour tout le monde. Les messages d'information sur les risques liés aux nanomatériaux doivent être adaptés à la réalité du travail de chacun afin que les questionnements sur la prise de risque favorisent la recherche de stratégies de gestion du risque.

Ainsi, nos résultats montrent que, du fait de leur activité et des postes occupés, ainsi que de leur formation initiale, les physiciens perçoivent moins le risque lié aux nanomatériaux que les chimistes ; les hommes le perçoivent moins que les femmes et les anciens moins que les novices. Les populations les plus exposées aux nanomatériaux dans leur activité ont une perception des risques plus élevée, liée à sa pertinence avec leur situation de travail, qui les amène à se poser des questions sur les moyens d'agir pour se protéger. Cette exposition s'explique par une répartition du travail en fonction des rôles sociaux. Pour les populations au travail les plus exposées, cela peut amener, parce qu'on perçoit le risque, à plus de stratégies défensives ou de déni du risque. Tandis que ceux percevant moins le risque ont l'impression de ne pas être exposés alors qu'ils peuvent l'être en réalité. Les perceptions différenciées du risque en laboratoire selon le métier, le genre et l'ancienneté se trouvent sur un axe avec deux extrémités : d'un risque non perçu par méconnaissance à des stratégies de prudence, voire de déni du risque pour lutter contre la peur.

Cette approche de la représentation des risques du point de vue de l'activité de travail réel, que prône l'ergonomie de l'activité, nous semble relativement éloignée d'autres approches sur la façon de concevoir la prévention des risques liés aux nanomatériaux. L'approche *Safe by*

design est prônée actuellement comme une autre voie à l'approche au cas par cas (Maynard et al., 2006 ; Revue Environnement et Technique, 2013 ; Actes du congrès Nanosafe 2014). Il s'agit de limiter les risques des nanomatériaux dès la conception des produits ou dès la conception du processus de fabrication et de manipulation de ces nouveaux matériaux. Ce qui de notre point de vue, est très efficace en prévention des risques. Cependant cette approche tient trop faiblement compte de la compréhension de l'activité réelle de travail pour penser la conception des dispositifs techniques et organisationnels de manipulation des nanomatériaux du côté de la santé et de la sécurité au travail. Il est important selon nous de considérer le travail pour ne pas banaliser les risques, l'approche *by design* pouvant masquer les risques inhérents au travail.

6.1.2. Des transformations des représentations qui viennent des espaces de discussion sur le travail

Lorsque les salariés sont confrontés à leurs activités réelles de travail, cela les amène à discuter de leur perception du risque en fonction de situations concrètes de travail. Les espaces de discussion sur le travail, créés par l'intervention ergonomique, amènent les acteurs à préciser les buts et mobiles de leur activité individuelle. Par exemple, untel va faire une opération de nettoyage de matériel contenant des nanomatériaux de telle façon, alors qu'un autre s'y prendra d'une autre façon. L'échange professionnel, engagé entre les salariés, sur la diversité de pratiques participe activement à des changements de représentation sur les risques liés aux nanomatériaux (ex : façon de peser la poudre, d'utiliser le becquet pour transférer le liquide dans un autre récipient, etc.).

D'abord, ces espaces de discussion sur le travail permettent aux salariés de prendre conscience du risque, c'est-à-dire un moment pour échanger sur la connaissance du risque et évaluer le risque potentiel. Ils sont aussi le lieu de transformation de représentation du risque (ex : passage d'une perception fondée sur le principe de précaution de façon globale à une perception plus nuancée sur la diversité des situations d'exposition aux risques selon le travail effectué). Lorsque les acteurs doivent expliciter leur choix dans l'action, les motifs qui sous-tendent leurs stratégies de gestion du risque ou de mise en sécurité, il est possible d'accéder à leur perception du risque et d'accompagner des transformations des représentations des difficultés dans l'activité posées par la manipulation de nanomatériaux.

Le cas d'une intervention dans un secteur industriel permet de confirmer ce résultat : les acteurs décideurs ayant peu participé à des espaces de discussion sur le travail restent davantage dans leur représentation initiale des risques liés aux nanomatériaux (vision au cas par cas, difficulté à percevoir les effets possibles sur la santé). Tandis que les laborantins ayant participé aux espaces de débat sur le travail sont moins dans une résistance systématique à l'introduction de ces nouveaux matériaux, à condition que les moyens de protection soient conçus de façon adaptée par rapport à l'activité de travail, ses contraintes et ses résultats.

La construction d'espaces de discussion sur le travail apparaît une condition indispensable dans la conception de la prévention des risques liés aux nanomatériaux pour faciliter des changements de représentations, des prises de conscience du risque et penser ensemble l'action de prévention de ces risques.

6.1.3. Une construction sociale de la prévention, résultat de la création de collectif de travail

La création d'espaces de débat sur le travail, qui favorise des transformations des représentations des risques, est l'occasion de construire socialement la prévention des risques. Les possibilités offertes aux acteurs au travers de leur participation à ces espaces de débats sur le travail favorisent dans un premier temps un travail collectif entre des acteurs d'un même métier ou de fonctions différentes. Ce travail collectif permet, dans un deuxième temps, le développement d'un collectif de travail, c'est-à-dire la construction d'un point de vue collectif sur la perception des risques et leur gestion. Cette activité collective, fondée sur l'articulation entre du travail collectif et du collectif de travail (Caroly, 2010), amène au développement d'une construction sociale sur la façon de concevoir la prévention des risques pour la santé et la sécurité, entre des acteurs défendant des logiques plus ou moins différentes dans le fonctionnement de l'entreprise. Il nous apparaît donc important pour changer les représentations du risque lié aux nanomatériaux et construire leur prévention, d'accompagner les acteurs au développement de cette activité collective, c'est-à-dire à la construction de travail collectif à travers les espaces de débat et à l'élaboration de collectif de travail issue des discussions entre les acteurs sur l'activité, ses risques et les façons de se protéger. Un collectif de travail ne se définit pas seulement comme une référence commune à un risque, mais il autorise aussi à une diversité de pratiques professionnelles, liée à l'expérience des salariés, les situations de travail rencontrées, les conditions offertes par le milieu de travail, y compris les possibilités de travail collectif.

La construction d'un collectif de travail apparaît ainsi comme une condition pour que les espaces de discussion sur le travail puissent amener à des transformations des représentations sur les risques et les manières ou façons de les prévenir. Il serait intéressant pour la prévention des risques liés aux nanomatériaux de créer des modalités de prise de conscience des risques par le développement d'activité collective : par exemples, projet collectif pluridisciplinaires impliquant des chimistes et des physiciens ; ou un travail collectif entre des anciens salariés et des novices, etc.

Cette orientation scientifique à visée pragmatique pour la prévention a été démontrée dans nos résultats quand les acteurs décideurs, dans le cas d'une intervention ergonomique, peinent à changer leurs représentations du risque, alors que les salariés ont réussi à transformer celle-ci vers un meilleur ajustement à la réalité de leurs situations de travail. Nous faisons ici l'hypothèse que l'absence de point de vue collectif (Caroly, 2010) des décideurs issue du manque de travail collectif visant la confrontation de l'exposition au risque à l'activité réelle de travail des salariés, n'a pas permis de dépasser des routines (Charue-Duboc & Raulet-Croset, 2014) ou de mettre en visibilité pour eux des conflits de logique entre performance et sécurité.

La construction sociale de la prévention liée aux nanomatériaux dépend de la création de collectifs de travail qui peuvent discuter et débattre sur l'activité réelle de travail pour transformer les représentations du risque et faire évoluer les pratiques de prévention vis-à-vis de ce risque à partir de l'action.

6.1.4. De l'action aux représentations

Nous retiendrons que la construction collective de la prévention semble possible par la confrontation des représentations et des pratiques réelles de travail. L'intervention ergonomique permet de faire un pas de plus dans la transformation des représentations des risques liés aux nanomatériaux en lien action. En effet, conduire des transformations de l'activité dans le processus d'intervention change la perception des risques. Par exemple, lors des simulations de l'activité future, les salariés peuvent se projeter dans la situation de travail à venir, développer leur pouvoir d'agir (Clot, 2008) sur leur besoin en équipement, procédures, organisation du travail qui peuvent les aider à se protéger du risque. Ce rapport à l'action transforme les représentations du risque : sentiment d'une plus grande maîtrise du risque, diminution de la peur d'être exposé, passage du déni du risque à des stratégies de prudence, etc.

La prévention des risques est à concevoir dans les articulations entre action et représentation. Nous avons mis en évidence ce lien entre représentation et action dans deux interventions ergonomiques en milieu industriel, ainsi qu'à partir des données récoltées dans les entretiens et observations réalisés dans les laboratoires publiques de recherche. La confrontation à l'activité réelle, et encore plus à des modifications de l'action (transformation de l'activité) amène à des transformations des représentations du risque (L'Allain & Caroly, 2012).

D'après le cadre théorique, nos résultats indiquent que la représentation détermine l'action mais surtout que l'action peut transformer les représentations. En effet, les représentations des opérateurs, alimentées par la crainte d'une exposition dont les effets sur la santé sont méconnus, dans certains cas, amènent parfois les salariés à refuser de faire le travail (cas d'usage du droit de retrait ou tendance à inhiber l'action). Et inversement, lorsque les salariés font malgré tout, sans trop connaître les effets possibles sur leur santé pour répondre à des objectifs de production, cela peut alimenter une mauvaise perception des risques, voire le déni du risque. Le fait de mettre les salariés en situation d'observation de leur propre travail et de réflexion sur leur activité future, lors des situations d'expérimentation ou de simulation peut être considéré comme d'une nouvelle façon de penser la conception de la prévention des risques liés aux nanomatériaux. En effet, faute de pouvoir construire une prévention des risques sur de la sécurité réglée pour les risques liés aux nanomatériaux, il apparaît intéressant de concevoir des dispositifs de prévention sur la sécurité gérée en y intégrant le point de vue collectif des salariés, c'est-à-dire leur représentation des risques. L'apport de l'ergonomie dans la prévention des risques liés aux nanomatériaux se trouve principalement dans la façon d'aborder la représentation des risques en lien avec l'action.

Pour élargir ce propos, il serait intéressant de poursuivre la recherche sur les méthodologies de confrontation de représentations sur l'action, que nous donnent les espaces de débats sur le travail et de combiner plusieurs outils méthodologiques pour accéder à la perception des risques (questionnaire, entretien, auto-confrontation sur les traces de l'activité, confrontation à la mesure, utilisation de la photo ou de la vidéo par le salarié pour caractériser des situations types d'exposition, etc.).

6.2. Développer la sécurité réglée à travers des objets intermédiaires de discussion sur les risques : place des équipements et des procédures dans la gestion réelle des risques

Dans ce paragraphe, nous reprenons nos résultats sur l'usage des équipements dans l'activité comme des objets intermédiaires de discussion dans les espaces de débat sur le travail qui favorisent des changements de représentations du risque lié aux nanomatériaux mais surtout qui amènent à la production collective de règles sur l'utilisation des équipements et sur la création de procédures de travail pour se protéger des risques. Les équipements, qui sont mis en discussion entre les salariés et avec leurs directions, concernent essentiellement les équipements de protection individuelle (EPI) ou collective, les protections techniques du matériel, les procédés de fabrication des nanomatériaux.

L'usage de l'équipement renseigne sur la perception des risques et les pratiques des acteurs. La discussion sur l'usage des équipements permet d'organiser des controverses sur la façon d'être exposé et de mettre en œuvre des moyens de prévention en fonction de l'activité réalisée (par exemple, l'utilisation de la hotte, de la boîte à gants, du masque, des gants, etc.). Selon les disciplines, l'équipement peut être perçu comme une ressource pour la sécurité (exemple physicien) alors qu'il est l'objet de crainte et d'inquiétude sur l'exposition pour d'autres travailleurs (exemple chimiste).

Malgré ces différences de représentation du rapport au risque issues de la sécurité perçue des équipements selon les disciplines, il apparaît que l'organisation d'espaces de débat sur l'usage des équipements dans l'activité réelle de travail est une opportunité pour passer de la sécurité gérée à la sécurité réglée (Daniellou and coll. 2010). La sécurité réglée renvoie à l'ensemble des prescriptions (issues de la législation, de procédures types ou d'attendus/recommandations pour manipuler des nanomatériaux). La sécurité gérée est celle qui se fait au quotidien dans l'activité de travail. Elle dépend des perturbations rencontrées et nécessite des ajustements en permanence pour faire face à des dysfonctionnements ou des variabilités de production, de maintenance ou de nettoyage. Autrement dit le passage d'une discussion entre les opérateurs, élargie à leur direction ou représentant du personnel, sur les difficultés à gérer dans l'activité les risques potentiels liés aux nanomatériaux favorise des changements de représentation et la production de règles communes sur la façon de structurer la sécurité dans des procédures, des équipements adaptés, etc. Ce passage de la sécurité gérée à la sécurité réglée n'est pas loin des notions de régulations développées par la sociologie, notamment les régulations conjointes, qui sont le résultat d'un échange entre des régulations autonomes et des régulations structurelles.

Ces espaces de discussion sur des objets intermédiaires de l'activité, tels que les équipements, sont un moyen de concevoir une prévention des risques liés aux nanomatériaux :

- Ils permettent d'instruire la prévention des risques dans les phases de manipulation/fabrication des nanomatériaux : De quelle métrologie dispose-t-on pour évaluer le risque ? Les mesures facilitent-elles des changements de représentations des risques et la formulation des besoins des opérateurs en termes de santé et de sécurité ? Les équipements sont-ils suffisamment efficaces pour ne pas exposer les salariés au risque ou les exposer faiblement (par exemple filtres des masques, gestion des poubelles « nanos », etc.) ?;
- Ils invitent à s'interroger sur les phases en dehors de l'activité de production, c'est-à-dire les phases de maintenance du matériel, de nettoyage et d'approvisionnement/stockage des produits. Ces phases font peu l'objet de protection matérielle visant la sécurité (par ex., gratter les parois du réacteur par des doctorants peu formés- Skaiky et al., 2011) et

sont souvent proposées par les salariés comme des thématiques importantes dans les espaces de discussion ;

- Le rapport aux équipements en lien avec les questions de risque lié aux nanomatériaux dépend de plusieurs caractéristiques des utilisateurs de ces équipements, à savoir les métiers, le sexe/genre et l'ancienneté, qui jouent sur les différences d'activité de travail. La formation à l'usage des équipements doit tenir compte de ces différences d'utilisateurs dans les usages faits des équipements, pour faire évoluer notamment la prise de conscience du risque ;
- Ils permettent la production collective de règles face au manque de prescription pour préserver la santé et assurer la sécurité dans une logique de production. Dans cette perspective, il ne s'agit pas de renoncer à des procédures adaptées de gestion des risques (application de réglementation) ou à des systèmes de management des risques dans un contexte d'incertitude (control banding) mais de donner l'occasion aux salariés de s'approprier des pratiques de prévention, qui sont pertinentes par rapport à leur activité réelle de travail et qui sont en adéquation avec la préservation de leur santé. Il s'agit de « leur permettre d'être réellement acteurs des démarches de prévention et de construction de leur santé » (Mohammed-Brahim & Garrigou, 2009).

Le manque actuel de prescription en matière de prévention (norme, réglementation, procédure d'usage des équipements) donne une belle occasion de remettre l'activité de travail au centre du débat sur les besoins futurs en équipement, organisation du travail, formation des opérateurs, etc. qui pourraient faciliter le développement de l'activité de chacun et de l'action de prévention. Les questions que pose la prévention du risque lié aux nanomatériaux rejoignent la démarche « *bottom-up* » de l'ergotoxicologie (Garrigou, 2010) ou la notion de sécurité gérée : l'exposition au risque n'est pas définie en termes de normes mais en termes d'activité et de stratégies de manipulation des produits par les salariés. La mise en visibilité de ces pratiques permet ainsi de construire et alimenter la prescription et d'élargir la prévention du risque lié aux nanomatériaux à une approche sur l'ensemble des risques professionnels et notamment d'intégrer la prévention des risques chimiques, qui fait office de bonnes pratiques sur la prévention des risques liés aux nanomatériaux aujourd'hui (Rapport IRSST d'Ostiguy et al. 2014).

Les récents travaux en ergotoxicologie (Garrigou, 2012 ; Galey, 2013) nous semblent particulièrement intéressants et fructueux à l'avenir pour trouver de nouvelles pistes de recherche visant à améliorer la connaissance de l'exposition et la mesure des risques en lien avec les activités réelles de travail. Elle permettra de concevoir des équipements et des moyens de protection des salariés adaptés à leurs caractéristiques, leur activité et leur environnement de travail.

6.3. Tenir compte du contexte d'incertitude et d'innovation dans la conception du dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux.

La perception et la gestion des risques liés aux nanomatériaux ne peuvent être déconnectées du contexte dans lequel elles se construisent. La problématique de l'innovation et de l'incertitude marque ce contexte. Nous souhaitons mettre ici en discussion 3 dimensions de ce contexte qui semblent importantes à prendre en compte pour concevoir une prévention efficace et durable des risques liés aux nanomatériaux :

- La perception des risques est biaisée/ gênée par la pression à l'innovation et à la performance scientifique (l'excellence) ;
- Les préventeurs ont des difficultés à entrer dans les entreprises sur une question de santé et sécurité des salariés exposés à un risque incertain ;
- Les espaces de débat sur l'activité réelle de travail permettent de ne pas attendre une production stable des connaissances sur les liens travail-santé à propos des nanomatériaux. Ils permettent de concevoir la prévention dans un contexte d'incertitude et de construire une prévention intégrée au processus d'innovation.

1/ Concevoir la prévention des risques liés aux nanomatériaux pose des questions sur les conditions de sa prise en compte et de sa mise en œuvre dans un contexte mettant en avant le progrès et les innovations technologiques issues des nanomatériaux. Travailler sur ces produits aux propriétés innovantes pour les entreprises privées ou publiques s'inscrit dans des logiques de marché en lien avec les financements publics et privés. Nos résultats montrent que les bénéfices économiques perçus de travailler sur les nanomatériaux amènent à une réduction de la perception des risques liés aux nanomatériaux. L'innovation, la passion du métier, la quête de découverte sont exacerbés au détriment de la prévention.

La tension entre innovation et incertitudes sur les risques liés aux nanomatériaux (effets controversés sur la santé, sur l'efficacité des équipements de protection existants et difficultés à mesurer les expositions professionnelles) ne fait pas l'objet de questionnement dans les modèles économiques de développement du marché des nanomatériaux. Par exemple, l'étude du business model de 5 entreprises sur la façon de définir des frontières physiques, sociales et mentales dans l'organisation du travail (Battard, Donnelly, Mangematin, 2013) montre que les nanomatériaux apparaissent comme une opportunité et nécessitent un bon niveau d'expertise et de compétences. L'étude des nanomatériaux donne la possibilité aux chercheurs d'élargir leur réseau professionnel et améliore leur travail collectif, voire favorise la pluridisciplinarité. Elle augmente aussi les possibilités de développement d'expérimentation de nouveaux protocoles, de méthodologies de recherche et apparaît une opportunité pour l'encadrement de doctorats. Ainsi, les nanomatériaux influencent les relations entre sciences et technologies, du point de vue de la production des connaissances et de l'innovation. Cependant dans certaines organisations, les bénéfices issus des nanomatériaux ne profitent seulement qu'à un petit groupe de chercheurs.

Nous remarquons ici l'absence de prise en compte des questions de santé et de sécurité au travail dans la construction même de modèles de gestion et d'économie des entreprises ou laboratoires manipulant des nanomatériaux. Ainsi une perspective de recherche est de mieux comprendre la façon dont la prévention des risques liés aux nanomatériaux pourrait davantage être intégrée aux logiques d'innovation. Il est fréquent que les travailleurs soient peu pris en considération dans les innovations, c'est souvent quand les problèmes de santé apparaissent que se posent les questions de leur travail et de leur sécurité. La place de la santé dans l'innovation pourrait faire l'objet d'une plus grande attention à travers deux aspects :

- La connaissance sur la nanotoxicité est en évolution permanente et peut être un levier pour amener les acteurs de la conception à intégrer les incertitudes dans les logiques d'innovation ou les salariés à poser des questions sur les prises de risque dans les processus d'innovation ;
- Les questions posées par la société civile, sur les risques potentiels pour les utilisateurs, l'environnement et les générations futures participent à questionner les systèmes de production industrielle manipulant ou fabriquant des nanomatériaux. Ces questions sociales peuvent aider à la prise en compte de changements de pratique en matière de prévention des risques dans la gestion de la production et de l'innovation.

2/ Un autre résultat de notre recherche est le constat de la difficulté des préventeurs à entrer dans les entreprises sur cette question de la prévention des risques liés aux nanomatériaux, qu'ils soient ingénieurs ou contrôleurs de la CARSAT, médecins du travail en SSTI ou chercheurs-intervenants en ergonomie. Cette difficulté d'accéder au terrain par la question de la prévention traduit en réalité une tension entre innovation et incertitude pour les entreprises publiques et privées. En effet, les connaissances non encore stabilisées sur les expositions et les effets sur la santé n'incitent pas les entreprises à s'engager dans l'inconnu. A plusieurs reprises, les directions ont exprimé leurs craintes de déclencher des peurs ou des réactions non maîtrisables chez les salariés qui pourraient gêner la production et l'innovation.

Nos résultats de recherche ouvrent ici sur trois perspectives de recherche pouvant améliorer la prise en compte de la prévention des risques liés aux nanomatériaux dans les processus d'innovation :

- Former les préventeurs aux connaissances actuelles sur la nanotoxicité pour avoir un discours sur les risques auprès de l'entreprise, nuancé selon l'état des connaissances, le type de nanomatériaux manipulés, la diversité des situations d'exposition et les moyens de protection existants. Ces formations sont à envisager dans le cadre de la formation initiale et continue ;
- Construire du partenariat et du travail collectif entre les préventeurs. En effet, il est plus difficile d'entrer seul dans une entreprise qu'à plusieurs. Des formes de collaboration sont à inventer ou à renforcer entre les préventeurs de différentes institutions ;
- Elaborer une bibliothèque de situations d'intervention réussies de dispositifs de prévention des nanomatériaux qui ont contribué aussi à améliorer la performance de l'entreprise, apparaît un très bon argument pour les directions.

Nous souhaitons développer ici ce dernier point sur les relations à entretenir entre la performance et la santé pour intégrer la prévention dans les logiques d'innovation. Nous constatons dans le cas d'une intervention ergonomique en milieu industriel, qu'à travers la construction d'une démarche de prévention des risques associés aux nanomatériaux, la performance globale de l'entreprise est aussi améliorée :

- Les salariés acquièrent une meilleure connaissance du fonctionnement des installations (ex. : système d'aspiration, cuve à déchets, etc.) ;
- La rédaction de modes opératoires pour les phases les plus à risque (ex. : pesée des poudres) a pour objectif de sécuriser les process mais la standardisation des façons de faire permettra aussi, en partie, de réduire les aléas liés aux manipulations et d'améliorer leur qualité ;
- Le plan de maintenance initié par le groupe de travail « Maintenance », avec la détermination des responsabilités et des périodicités et types de maintenance préventive pour chaque équipement, devrait permettre d'augmenter la disponibilité des équipements et diminuer les temps de panne.

Ici, l'intégration des logiques de production et de santé, rendue possible à travers les espaces de débat sur le travail, est un levier très puissant pour que la prévention soit prise en considération dans le processus plus large d'innovation.

3/ Concevoir la prévention dans un contexte d'innovation et d'incertitude doit reposer sur la création d'espaces de débat sur le travail entre les salariés et les directions pour faire évoluer les représentations et penser des actions visant la protection et la préservation de la santé. Comme le dit William Dab (2014), « plus l'incertitude est grande, plus elle doit être débattue ». Ces espaces de discussion sont des lieux de régulation, de production de règles d'action ajustées au contexte de travail et aux représentations des acteurs sur les liens entre prévention et innovation. Nous avons déjà bien décrit ces espaces de discussion comme une nouvelle pratique de prévention des risques liés aux nanomatériaux dans ce rapport. Nous souhaiterions ici juste exposer une perspective scientifique sur les relations à construire entre prévention des risques liés aux nanomatériaux et innovation sociale. Il serait intéressant de poursuivre la réflexion sur la façon dont les manières de tenir compte de la sécurité et la santé se construisent dans des tensions entre innovation et incertitude mais surtout de mieux comprendre à l'avenir comment les espaces de discussion participent réellement à la prévention (comment les innovations sociales produisent des formes d'innovation technique et organisationnelle tenant la prévention ; identifier en quoi les transformations des pratiques des salariés sur leur activité contribue à produire de l'innovation sociale).

Conclusion

L'objectif de ce rapport de recherche est de rendre compte des résultats d'un programme intitulé « construction et gestion des risques professionnels liés aux nanoparticules » dans le cadre d'un partenariat entre le laboratoire PACTE et l'INRS. Le postulat est qu'en l'absence de connaissances stabilisées sur les effets des nanomatériaux sur la santé, il est nécessaire de ne pas attendre et de produire des connaissances sur les façons de concevoir la prévention de ce risque.

Cette recherche porte sur la population des travailleurs et travailleuses, de métiers variés (chimistes, physiciens, techniciens de laboratoire, etc.) qui manipulent des nanomatériaux dans leur activité de travail. Nous avons enquêté auprès de laboratoires public et d'entreprises industrielles avec des méthodologies variées (entretiens individuels et collectifs, observations, simulation-expérimentation) de façon à décrire les représentations et les actions de prévention mises en œuvre par les salariés. Nous avons également pu réaliser deux interventions ergonomiques visant la construction de dispositif de prévention des risques liés aux nanomatériaux afin d'approfondir nos hypothèses de travail.

Nos résultats de recherche confirment plusieurs dimensions à prendre en compte pour concevoir une prévention adaptée à ce type de risque :

- S'appuyer sur les activités réelles des salariés : les comprendre, les interroger et les mettre en débat favorise la connaissance du risque, améliore la perception du risque, et donne du pouvoir d'agir aux salariés sur l'expression de leur besoins de sécurité ;
- La mise en débat du travail en lien avec la question des risques nanomatériaux participe à penser et innover sur des actions de prévention, notamment créer de nouvelles procédures de travail, ou améliorer les équipements de travail pour se protéger. Cela est rendu possible et le résultat d'une activité collective qui se développe entre des acteurs d'un même métier ou de fonctions différentes dans l'entreprise.

Il apparaît ainsi qu'il n'y a pas de modèle « général » du risque lié aux nanomatériaux, mais plutôt plusieurs modèles qui dépendent des activités réalisées par les uns et les autres et des discussions collectives qui s'élaborent entre les acteurs. Prendre en compte le travail, organiser des débats sur le travail (notamment l'usage des équipements), construire du collectif de travail sont des conditions essentielles pour tenir les liens entre représentation et action. Cela permettra d'améliorer les stratégies de prévention du risque lié aux nanomatériaux, à élargir aussi à d'autres risques professionnels complexes et émergents. La prévention pourra alors plus facilement s'intégrer dans des logiques d'innovation tout en maîtrisant d'une certaine manière l'incertitude.

Bibliographie

- AFNOR. (2008). *Nanotechnologies. Terminologie et définitions relatives aux nano-objets. Nanoparticule, nanofibre et nanoplat*. ISO/TS 27687.
- ANSES. (2010). *Development of a specific control banding tool for nanomaterials Report décembre 2010*. Paris: Maisons-Alfort : Anses Editions.
- ANSES (2015). *Nanomatériaux et santé. Comprendre où en est la recherche. Les cahiers de la recherche Santé, Environnement, Travail*. Octobre 2015.
- Alhakami, A. S., & Slovic, P. (1994). A psychological study of the inverse relationship between perceived risk and perceived benefit. *Risk Analysis*, 14, 1085–1096.
- Arousseau, M., Ballot, E., Bernard, A., Brissaud, D., Caroly, S., Frein, Y., Grabot, B., Rocchi, V. (2013). *FuturProd: Future Production Systems*. Report of the French National Research Agency - Contract No.: 11 ANIM 016 01.
- Arousseau, M., Ballot, E., Bernard, A., Brissaud, D., Caroly, S., Frein, Y., Grabot, B., Rocchi, V. (2013). *FUTURPROD : les systèmes de production du futur*. Rapport final ARP-ANR.
- Battard N., Donnelly P., Mangematin V. (2013). Understanding the emergence of new institutional logics: A boundary story dans 29th EGOS Colloquium, Montreal, Canada
- Beck, U. (1992). *Risk Society, Towards a New Modernity*. London: Sage Publications. 260 p.
- Böhle F., Milkau B. (1998). *De la manivelle à l'écran. L'évolution de l'expérience sensible des ouvriers lors des changements technologiques*. Paris : Éditions Eyrolles.
- Book of abstracts of congress Nanosafe 2014. Grenoble : 18-20 november 2014.
- Bruner, J., Goodnow, J.J., & Austin, G.A. (1953). *A Study of Thinking*. New York: John Wiley.
- Caroly, S. (2010). *L'activité collective et la réélaboration des règles : des enjeux pour la santé au travail*. (Habilitation à Diriger des Recherches, Université Victor Segalen Bordeaux 2, Bordeaux). <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00464801/fr/>
- Caroly, S. (2014). Le rapport des travailleurs et des travailleuses aux risques liés aux nanomatériaux : comment émergent les demandes d'intervention en ergonomie ? *Congrès ACE*. Québec. 7-9 Octobre 2014.
- Caroly, S., L'Allain, C., Drais, E. (2015). The relationship of female workers to nanomaterial-related risks: How do requests for ergonomic intervention emerge? *Book of abstracts IEA Congress*, August 10-14, Melbourne, Australia.
- Cegarra, J., & Hoc, J.-M. (2008). The role of algorithm and result comprehensibility of automated scheduling on complacency. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 28(6), 603-620.
- Cheng, T.-J., Lin, Y.-P., Li, Y.-R., Chou, G.-T. (2009). The Risk Perception of Nanotechnology in Taiwanese General Population, Workers, and Experts. *Epidemiology*, 20 (6), p. 227.
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris : PUF.
- Cobb, M. D., & Macoubrie, J. (2004). Public perceptions about nanotechnology: Risks, benefits and trust. *Journal of Nanoparticle Research*, 6, 395–405.

- Cohen, M.S., Tolcott, M.A., & McIntyre, J.R. (1987). Display techniques for pilot interactions with intelligent avionics: A cognitive approach Falls. Decision Science Consortium.
- Coutarel, F., Caroly, S., Daniellou, F., Vezina, N. (2015). Marge de manœuvre et pouvoir d'agir : des concepts à l'intervention ergonomique. *Le travail Humain*, 78 (1), 9-29
- Clot, Y. (1999). *La fonction psychologique du travail*. Paris : PUF.
- Cru, D (1995). *Règles de métier. Langue de métier*. Diplôme d'Ergonomie. Paris. Ecole Pratique des Hautes Etudes.
- Cuvelier, L (2013) L'ingénierie de la résilience : un nouveau modèle pour améliorer la sécurité des patients ? L'exemple de l'anesthésie. *Santé publique*, 25, 4, 475-482. http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=SPUB_134_0475
- Dab, W. (2014). *Grand témoignage*. Communication présentée au séminaire INRS « Les nanomatériaux manufacturés à l'horizon 2030 - Conséquences en santé et sécurité au travail dans les petites entreprises en France », Paris.
- Daniellou, F. (1986). *L'opérateur, la vanne, l'écran : l'ergonomie des salles de contrôle*, collection outils et méthodes, Montrouge : Editions ANACT, 435 p.
- Daniellou F. (1998). *Participation, représentation, décisions dans l'intervention ergonomique*. Dans V., Pilnière, & O., Lhospital (Edit.), Actes des Journées de Bordeaux sur la Pratique de l'Ergonomie : Participation, représentation, décisions dans l'intervention ergonomique. Bor-deaux : Éditions du LESC.
- Detchessahar, M. (2011). Santé au travail. Quand le management n'est pas le problème mais la solution... *Revue française de gestion*, 5 n° 214, 89-105.
- Detchessahar, M. (2013). L'avènement de l'entreprise communicationnelle. *Revue française de gestion*, 142, 65-84.
- Drais, E. (2009). Entre incertitudes et risques, la prévention est-elle toujours rationnelle ? L'exemple de la précaution à l'égard des nanoparticules. *Hygiène et Sécurité au Travail*, 216, septembre.
- Endsley, M. & Jones, D.G. (2004). *Designing for Situation Awareness: An approach to user-centred design*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis
- Engeman, C., Baumgartner, L., Carr, B., Fish, A., Meyerhofer, J., Satterfield, T., Holden, P., & Herr Harthorn, B. (2012). Governance implications of nanomaterials companies' inconsistent risk perceptions and safety practices. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(3)
- Falzon, P. (2004). *Ergonomie*, Paris : PUF.
- Faverge, J.M. (1966). L'analyse du travail en termes de régulation. In J.M. Faverge & al. (eds). *L'ergonomie des processus industriels* (pp. 33-60). Bruxelles : Editions de l'institut de Sociologie de l'Université de Bruxelles.
- Gaffet, E. (2011). Nanomatériaux : Une revue des définitions, des applications et des effets sur la santé. Comment implémenter un développement sûr. *Comptes Rendus Physique*, 12(7), 648–658.
- Galey, L. (2013). Incertitude face au risque dans l'innovation : vers la genèse des pratiques de sécurité. Le cas de l'usage des nanomatériaux. *Mémoire de master recherche en ergonomie*. Paris : CNAM.

- Garrigou, A. (2011). *Le développement de l'ergotoxicologie : une contribution de l'ergonomie à la santé au travail*. Document d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université Victor Segalen Bordeaux 2, Bordeaux.
- Garza, C., de la & Weill-Fassina, A. (2000). Régulations horizontales et verticales du risque. In Weill-Fassina, A., Hakim Benchekroun, T. (2000). *Le travail collectif : perspectives*
- Gasser, R., Fischer, K., & Wäfler, T. (2011). Decision Making in Planning and Scheduling: A Field Study of Planning Behaviour in Manufacturing. In J. C. Fransoo, T. Wäfler, & J.R. Wilson (Eds.), *Behavioral Operations in Planning and Scheduling* (pp. 11 - 30). Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- actuelles en ergonomie* (pp. 217-234). Toulouse : Octarès Editions.
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F, Durafourg, J., & Kerguelen, A. (1991). *Comprendre le travail pour le transformer. La pratique de l'ergonomie*. Lyon : Editions ANACT.Hoc, J.M., Mebarki, N. & Cegarra, J. (2004). L'assistance à l'opérateur humain pour l'ordonnancement dans les ateliers manufacturiers. *Le Travail Humain*, 67, p. 181-208.
- INRS. (2012). *Les nanomatériaux. Définitions, risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention*. ED 6050. Paris : Editions INRS.
- INRS (2015). Nanomatériaux manufacturés : quelle prévention à l'horizon 2030 ? Veille et prospectives. *Hygiène & sécurité du travail*, 233, 3/15.
- Jouvenet, M. (2011). Profession scientifique et instruments politiques. L'impact du financement 'sur projet' dans des laboratoires de nanosciences. *Sociologie du Travail*, 53(2), 234-252
- Jouvenet, M. (2012). Nanosciences et nanotechnologies : une coopération modèle ? Expériences et sens politique des scientifiques. *Terrain*, 58, 44-63
- Kahan & al. (2009). Nature Cultural cognition of the risks and benefits of nanotechnology. *Nanotechnology*, Fév. 2009
- Kouabenan, D.R. (2007). Incertitude, croyances et management de la sécurité. *Le Travail Humain*, 70(3), 271-287
- Kouabenan, D.R. (2009). Role of beliefs in accident and risk analysis and prevention. *Safety Science*, 47, 767-776.
- Lacour, S. (2009). *Quelle régulation pour les nanosciences et les nanotechnologies ?* Synthèse de l'atelier résidentiel interdisciplinaire, Domaine du Tremblay, 27-30 janvier 2009. Synthèse de l'atelier résidentiel "Quelle régulation pour les nanosciences et les nanotechnologies ?", Le Tremblay sur Meauldre. Tiré de <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00439307>
- Leplat, J., & Cuny, X (1977). *Introduction à la psychologie du travail*. Paris : PUF.
- Lipshitz, R., & Strauss, O. (1997). Coping with uncertainty: A naturalistic decision-making analysis. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 66, 149-167
- Maynard, A.-D., Aitken, R.-J., Butz, T., Colvin, V., Donaldson, K., Oberdörster, G., Philbert, M.-A., Ryan, J., Seaton, A., Stone, V., Tinkle, S.-S., Tran, L., Walker, N.-J. & Warheit, D.-B. (2006). Safe handling of nanotechnology. *Nature*, 444 (16), 267-269
- Messing, K. (2000). *La santé des travailleuses. La science est-elle aveugle ?* Toulouse : Octarès Editions, 306 p.

- Morose, G. (2010). The principle of “design” for safer technology. *J. Clean Prod.* 18, 285-289.
- OSHA 2012 Risk perception and risk communication with regard to nanomaterials in the workplace : https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/literature_reviews/risk-perception-and-risk-communication-with-regard-to-nanomaterials-in-the-workplace
- Ostiguy, C., Debia, M., Roberge, B., Dufresne, A. (2014). *Nanomatériaux – Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques en milieu de travail, 2^e édition*. Montréal : Etudes et recherches, IRSST. Rapport R-840, 120 pages. www.irsst.qc.ca/-publication-irsst-nanomateriaux-guide-r-840.html
- Peretti-Watel, P. (2003). *La société du risque*. Paris : La découverte.
- Ponce del castillo, A.M. (2013). Nanomaterials and workplace health and safety. What are the issues for workers? ETUI.
- Revue Environnement et Technique (2013). *Le safe by design, ou la volonté de limiter les risques liés au nano. Nanomatériaux : entre défis et précaution, la science avance*, n°325, paru le 13/05/2013. <http://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/nanomateriaux/safe-nano.php>
- Rocha, R. (2014). Du silence organisationnel au développement du débat structure sur le travail : les effets sur la sécurité et l’organisation. *Document de doctorat en ergonomie*. Université de Bordeaux.
- Saiky, H. Caroly, S., Vinck, D., Drais, E. (2011). The equipment in researchers work process as a privileged entrance point for nanoparticles risk management. *Actes du Colloque INRS*, Nancy, 5-7 avril.
- Scheufele, D. A., & Lewenstein, B. V. (2005). The public and nanotechnology: How citizens make sense of emerging technologies. *Journal of Nanoparticle Research*, 7,659–667.
- Siegrist, M., Stampfli, N., Kastenholz, H., & Keller, C. (2007). Perceived risks and perceived benefits of different nanotechnology foods and nanotechnology food packaging. *Appetite*, 51, 283–290.
- Skaiky, H. (2010). Le débat public autour des nanotechnologies : vu d’un laboratoire de recherche grenoblois. *Actes du congrès de l’AISLF*, Namur.
- Slovic, P. (1987) Perception of Risk. *Science* , New Series, Vol. 236, No. 4799. (Apr. 17, 1987), pp. 280-285.
- Star S.L., & Griesemer J. (1989). Institutionnal ecology, ‘Translations’ and Boundary objects: amateurs and professionals on Berkeley’s museum of vertebrate zoology. *Social Studies of Science*, 19, 387-420.
- Teiger, C. (1993). L’approche ergonomique : du travail humain à l’activité des hommes et des femmes au travail. *Education permanente*, 116 (3), 71-96.
- UIC. (2009). *Guide de bonnes pratiques. Nanomatériaux et HSE*. Paris La Défense : CP Chimie Promotion.
- Valot, C., Weill-Fassina, A, Guyot, S., Amalberti, R. (1995). Vers un modèle pour l’analyse ergonomique des grands systèmes. *Actes du XXX^e Congrès de la SELF*, Biarritz.
- Vézina, N. (2001). La pratique de l’ergonomie face aux TMS : ouverture à l’interdisciplinarité. *Actes de la SELF-ACE*, Montréal, pp. 44-60.

- Vinck, D. (2006) L'équipement du chercheur. Comme si la technique était déterminante. *Ethnographique.org*, 9. <http://www.ethnographiques.org/2006/Vinck.html>
- Vinck, D. (2009). *Les nanotechnologies*. Paris : Edition Le Cavalier Bleu.
- Weill-Fassina, A. (2016). L'activité. In Bobillier-Chaumon, M.E., Brangier, E., Dubois, M., Valléry, G. *Psychologie du travail et des organisations : 100 notions clés*. Paris : Dunod. *A paraître*.
- Weill-Fassina, A., & Teiger, C. (1998). Évolution des compétences professionnelles. *Communication. Séminaire Interlabos d'Ergonomie*. Laboratoire d'Ergonomie du CNAM et Laboratoire d'Ergonomie Physiologique et Cognitive de L'EPHE, Paris.
- Wisner, A. (1995). *Réflexions sur l'ergonomie (1962-1995)*. Toulouse : Octarès Editions.
- Xiao, Y., Milgram, P., & Doyle, D.J. (1997). Capturing and modelling planning expertise in anesthesiology: Results of a field study. In C. Zsombok & G. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision Making* (pp. 197-205). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

ANNEXE

Listes des publications issues de cette recherche

L'Allain C., Caroly, S., Drais ; E. (2015). Les espaces de débat sur le travail : des ressources pour la prévention des risques dans un contexte d'innovations et d'incertitudes. *Actes du 50^{ème} congrès de la SELF*, Paris, 23-25 septembre, pp. 266-270. Pp. 316-322.

L'Allain C., Caroly, S., Drais ; E. (2015). Prévention des risques liés aux nanomatériaux. Récit d'une intervention ergonomique dans une entreprise du secteur industriel. *Hygiène et Sécurité au Travail* (à paraître)

L'Allain, C., Caroly, S. & Drais, E., Witschger, O. (2015). Concevoir la prévention d'un risque émergent : une démarche fondée sur les représentations et les activités. *PISTES*, 17 (1) <https://pistes.revues.org/4421>

Caroly, S., L'Allain, C., Drais, E. (2015). The relationship of female workers to nanomaterial-related risks: How do requests for ergonomic intervention emerge? *IEA Congress*, August 10-14, Melbourne, Australia.

L'Allain, C., Caroly, S., Drais, E. (2015). Innovation and prevention of risks related to nanomaterials: what intervention for a prospective ergonomics? *IEA Congress*, August 10-14, Melbourne, Australia.

Caroly, S. (2014). Le rapport des travailleurs et des travailleuses aux risques liés aux nanomatériaux : comment émergent les demandes d'intervention en ergonomie ? *Congrès ACE*. Québec. 7-9 Octobre 2014.

L'Allain, C. & Caroly, S. (2012). Innovation et prévention des risques : le cas des nanomatériaux. *Actes du 47^{ème} congrès de la SELF*, Lyon.

L'Allain, C., Caroly, S. & Drais, E. (2012). Design of a prevention approach: from representations to action. The case of nanomaterials. *Book abstract of congress Nanosafe 2012*, 13-15 novembre, Grenoble.

L'allain, C. (2011). Innovation dans un contexte d'incertitudes : quelles conséquences pour la prévention ? Le cas des nanoparticules. *Mémoire de master recherche en ergonomie* (direction : S. Caroly). Paris : CNAM.

L'allain, C., Caroly, S. (2011). Du principe de précaution à la construction sociale de la prévention des risques liés aux nanoparticules. *Actes du 46^{ème} congrès de la SELF*, Paris, pp. 266-270

Skaiky, H., Caroly, S., Vinck, D., Drais, E. (2011). The equipment in researchers work process as a privileged entrance point for nanoparticles risk management. *Book abstract of congress Nano INRS 2011*, 5-7 avril, Nancy.

Dubernet, S. (2010). La perception du risque et les pratiques de prévention de chercheurs manipulant des nanoparticules. *Mémoire de master professionnel en pathologie humaine*. Université de médecine Aix-Marseille II.

Drais, E., Caroly, S. (2010). Improving workplace prevention associated to nanoparticles: the needs of considering uncertainties. *Colloque Nanosafe*, du 16-18 novembre 2010 à Grenoble.