

Prévention des risques chimiques et biologiques

# Études et recherches

RAPPORT R-854



## Portrait de la nanotechnologie au Québec dans les milieux industriels et de la recherche universitaire et publique

*Charles-Anica Endo  
Claude Ostiguy  
N. Inès Dossa  
Claude Emond*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

## NOS RECHERCHES

*travaillent pour vous !*

### Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

*Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.*

### Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : [www.csst.qc.ca/AbonnementPAT](http://www.csst.qc.ca/AbonnementPAT)

### Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
2014  
ISBN : 978-2-89631-778-3 (PDF)  
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications  
et de la valorisation de la recherche  
505, boul. De Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : 514 288-1551  
Télécopieur : 514 288-7636  
[publications@irsst.qc.ca](mailto:publications@irsst.qc.ca)  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
novembre 2014



Prévention des risques chimiques et biologiques

# Études et recherches

■ RAPPORT R-854

## Portrait de la nanotechnologie au Québec dans les milieux industriels et de la recherche universitaire et publique

### Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

*Charles-Anica Endo,  
AGY Consulting*

*Claude Ostiguy,  
IRSST*

*N. Inès Dossa et Claude Emond,  
Université de Montréal*

Cliquez recherche  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)



Cette publication est disponible  
en version PDF  
sur le site Web de l'IRSST.

## ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

## **REMERCIEMENTS**

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont bien voulu remplir le questionnaire et participer à cette l'étude. La réussite de celle-ci n'aurait pas été possible sans leur participation.

Nous exprimons également notre gratitude aux collaborateurs de l'équipe de recherche, dont Yasmina Malki, Anton Plavski, Chantale Boily et David Roughley,

Nous remercions finalement l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), qui a financé ce projet.



## SOMMAIRE

La dernière décennie a vu émerger un intérêt croissant pour le développement et l'utilisation des nanotechnologies (NT) dans différents domaines incluant la chimie, l'électronique, les cosmétiques et le diagnostic/traitement médical. En raison des propriétés uniques des nanoparticules (NP), de leurs multiples applications, de leur potentiel économique et social, et des percées scientifiques dont elles sont à l'origine, plusieurs gouvernements ont décidé d'investir massivement afin de soutenir la recherche, de favoriser l'implantation industrielle et de s'appropriier une part de ce marché colossal. Par contre, les efforts de recherche consacrés à caractériser les effets potentiels de l'utilisation de ces matériaux sur la santé et la sécurité des travailleurs ou des consommateurs et sur l'environnement sont beaucoup plus limités. Au niveau mondial, peu d'études ont été conduites pour dresser le portrait de l'exposition des travailleurs aux NP (chercheurs, producteurs, intégrateurs et utilisateurs) et établir la liste de leurs besoins, notamment en matière de santé et de sécurité du travail.

La présente étude a pour objectif de dresser le portrait des industries et des laboratoires de recherche universitaire et publique du Québec qui développent, produisent, utilisent ou commercialisent des NP de synthèse. Pour cela, un questionnaire adapté au contexte québécois a été élaboré, validé et complété en ligne grâce à la plateforme informatisée Survey Monkey™. Quelque 2 000 participants et plus de 1 300 entreprises ont été ciblés. Les entreprises ont été contactées par téléphone afin de confirmer leur utilisation ou non de NP et de vérifier leur intérêt à participer à l'étude et à répondre au questionnaire. Les entreprises non rejointes par téléphone et celles qui avaient confirmé l'utilisation de NP ont reçu les informations les invitant et leur permettant de répondre au questionnaire. Pour leur part, les chercheurs associés au NT ont été sollicités par courriel pour participer à ce projet. Le questionnaire a été envoyé à 579 personnes du milieu industriel et à 653 personnes ressources du milieu de la recherche universitaire et publique.

Au total, 90 participants, dont 51 provenant du milieu industriel, ont complété le questionnaire. Des entreprises ciblées et rejointes par téléphone, 7,4 % ont mentionné être impliquées en NT. Vingt-neuf pour cent des industries, qui ont déclaré utiliser des NP lors de l'enquête téléphonique, ont complété le questionnaire. La plupart des établissements qui utilisent des NP comptent 250 employés ou moins et la proportion des activités qui impliquent les NP de la majorité d'entre elles est inférieure à 10 % en milieu industriel, sauf pour celles qui en produisent. Les résultats du sondage, jugés significativement représentatifs de la situation au Québec, montrent que la majorité des NP sont utilisées sous forme de poudre et de particules et proviennent principalement des États-Unis et du Canada. Les opérations susceptibles de générer les NP et les mesures de prévention utilisées varient selon les établissements et diffèrent selon que l'établissement œuvre en recherche ou en production industrielle. Quoiqu'une forte proportion des répondants affirme avoir mis en place des mesures de prévention qu'ils croient suffisantes, un nombre non négligeable d'entre eux souhaite avoir une meilleure connaissance des réglementations spécifiques en vigueur, de mesures de manipulation sécuritaire, de la toxicité des NP, des bonnes méthodes de travail, de l'efficacité des équipements de protection individuelle, de la conception sécuritaire des lieux, de la gestion des déchets et de l'impact environnemental. Cette étude démontre que l'essor des NT se poursuit au Québec, qu'il couvre différents secteurs d'activité économique et que les personnes impliquées souhaitent être mieux

informées sur les principaux aspects relatifs à une gestion optimale des risques en matière de SST.



## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	ix
1. INTRODUCTION.....	1
2. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.....	5
3. MÉTHODOLOGIE.....	7
3.1. Élaboration et validation du questionnaire destiné aux entreprises et aux chercheurs du Québec.....	7
3.2. Obtention de l’approbation éthique.....	7
3.3. Établissement de la liste des participants.....	8
3.4. Mise au point du questionnaire en ligne.....	9
3.5. Collecte des données.....	9
3.5.1. Généralités.....	9
3.5.2. Industries.....	10
3.5.3. Structures de la recherche universitaire et publique.....	10
3.6. Analyse des données.....	11
4. RÉSULTATS.....	13
4.1. Élaboration du questionnaire québécois visant à documenter les milieux de travail utilisant des NP.....	13
4.2. Résultats généraux de l’enquête.....	13
4.2.1. Participants du milieu industriel.....	13
4.2.2. Participants du domaine de la recherche universitaire et publique.....	16
4.3. Cartographie des utilisateurs producteurs des nanotechnologies au Québec dans les milieux industriels et de la recherche.....	18
4.3.1. Estimation des ressources humaines des industries/ structures de la recherche universitaire et publique touchant aux nanotechnologies.....	18
4.3.2. Nanoparticules dans les activités.....	19
4.3.3. Types de marchés concernés pour les participants du milieu industriel.....	20
4.3.4. Objets de recherche pour les participants du domaine de la recherche universitaire et publique.....	22
4.3.5. Activités des industries et des structures de la recherche universitaire et publique.....	24
4.3.6. Implication directe des employés dans l’utilisation des NP.....	25
4.3.7. Formation des travailleurs.....	26

4.3.8. Types, formes matérielles, provenance et quantités annuelles de NP manipulées/produites .....	27
4.3.9. Commercialisation des produits et des procédés .....	39
4.3.10. Les nanoparticules en milieu de travail .....	40
4.3.11. Relargage potentiel des nanoparticules.....	42
4.3.12. Pratiques en matière de santé et de sécurité du travail.....	45
4.3.13. Sécurité et protection .....	46
4.3.14. Entreposage.....	48
4.3.15. Traitement des déchets.....	49
4.3.16. Améliorations en matière de santé et sécurité du travail .....	50
5. DISCUSSION .....	53
6. CONCLUSION.....	61
BIBLIOGRAPHIE.....	63
ANNEXE 1 .....	69
ANNEXE 2 .....	77

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Études relatives à la SST ayant servi à l'élaboration du questionnaire. ....	14
Tableau 2 : Tableau récapitulatif du nombre de participants selon leurs réponses à l'étude.....	17
Tableau 3 : Profil des ressources humaines des organisations auxquelles appartiennent les participants.....	19
Figure 3: Marchés desservis par les participants du milieu industriel. Tableau 4 : Types de marchés desservis par les répondants qui ont sélectionné la catégorie « Autre ».....	21
Tableau 5 : Types de marchés desservis par les répondants des structures de la recherche universitaire et publique ayant sélectionné la catégorie « Autres ».....	23
Tableau 6 : Types de secteurs d'activité indiqués par les participants ayant sélectionné la catégorie « Autre » en fonction de leur appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique). ....	25
Tableau 7 : NP les plus souvent utilisées ou produites en poudre et en particules ainsi que les quantités annuelles approximatives manipulées et produites par le secteur industriel. ....	38
Tableau 8 : NP les plus souvent utilisées ou produites en poudre et en particules ainsi que les quantités annuelles approximatives manipulées et produites par le secteur de la recherche universitaire et publique.....	38
Tableau 9 : Manières dont les NP présentes dans les milieux de travail sont générées pour la catégorie « Autre ».....	41
Tableau 10 : Réponses des participants du milieu industriel qui ont choisi la catégorie « Autre » pour les opérations susceptibles de conduire au relargage des NP dans le milieu de travail et le degré d'inquiétude associé. ....	43



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Importance des nanoparticules dans les activités, participants du domaine de la recherche universitaire et publique. ....	19
Figure 2 : Importance des nanoparticules dans les activités, participants du milieu industriel. ....	20
Figure 3: Marchés desservis par les participants du milieu industriel. Tableau 4 : Types de marchés desservis par les répondants qui ont sélectionné la catégorie « Autre ».....	21
Figure 4 : Marchés desservis par les participants du domaine de la recherche universitaire et publique.....	23
Figure 5 : Secteurs d'activités des répondants en fonction de leur appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique).....	24
Figure 6 : Nombre de travailleurs directement impliqués dans la manipulation ou la production des NP en fonction du secteur d'appartenance des répondants (industrie/structures de la recherche universitaire et publique).....	26
Figure 7 : Formation des travailleurs dans les structures des participants en fonction de leur domaine (industrie/structures de la recherche universitaire et publique). ....	27
Figure 8 : Types de NP manipulées et produites dans le milieu industriel ainsi que les formes matérielles utilisées. ....	30
Figure 9 : Types de NP manipulées et produites dans le secteur de la recherche universitaire et publique ainsi que les formes matérielles utilisées. ....	31
Figure 10 : Provenance des NP manipulées et produites dans le milieu industriel. ....	32
Figure 11 : Provenance des NP manipulées et produites dans le secteur de la recherche universitaire et publique.....	33
Figure 12 : Quantités annuelles approximatives de NP manipulées et produites dans le secteur industriel. ....	36
Figure 13 : Quantités annuelles de NP manipulées et produites dans le secteur de la recherche universitaire et publique.....	37
Figure 14 : Commercialisation des produits et procédés, participants du milieu industriel. ....	39
Figure 15 : Commercialisation des produits et procédés, participants du secteur de la recherche universitaire et publique.....	40
Figure 16 : Manières dont les NP présentes dans les milieux de travail des participants sont générées en fonction de leur domaine (industries/structures de la recherche universitaire et publique). ....	41
Figure 17 : Opérations ou manipulations dans l'environnement de travail susceptibles de générer de la poussière contenant des NP et degré d'inquiétude, participants du milieu industriel...	43
Figure 18 : Opérations ou manipulations dans l'environnement de travail susceptibles de générer des poussières contenant des NP et degré d'inquiétude, participants du secteur de la recherche universitaire et publique. ....	44
Figure 19 : Pratiques en matière de SST dans les milieux de travail des participants en fonction de leur appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique). ....	46
Figure 20 : Mesures de protection utilisées par les participants lors de la manipulation des NP ou de leurs agrégats selon leur secteur d'appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique). ....	48
Figure 21 : Moyens de conservation et d'entreposage des NP selon l'appartenance des participants.....	49

Figure 22 : Moyens de confinement utilisés par les participants en fonction de leur secteur d'appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique). .....	50
Figure 23 : Informations et connaissances jugées utiles pour les améliorations en matière de santé et sécurité au travail. ....	51

## 1. INTRODUCTION

Croissant à un rythme effarant, la recherche dans le domaine émergent des nanotechnologies (NT) vise à produire des structures organisées de dimension nanométrique dont le comportement est dominé par des effets quantiques, ce qui conduit à des propriétés uniques des nano-objets (p.ex. : électriques, mécaniques, optiques, etc.) qui sont totalement différentes des produits de même composition chimique, mais de plus grande dimension (CSA 2012). Ces nano-objets (qui seront regroupés sous l'appellation nanoparticules [NP]<sup>1</sup> dans le présent rapport) permettent la conception de produits aux caractéristiques nouvelles et d'applications qui affecteront, à moyen terme, beaucoup de domaines de l'activité humaine.

Les NT pourront aussi bien être utilisées pour le diagnostic ou le traitement médical, pour les cosmétiques, que dans la fabrication de matériaux indispensables en optique et en électronique, ou encore pour améliorer la performance de divers matériaux, etc. En extrapolant la droite des produits commercialement disponibles en mars 2011 et répertoriés par le Woodrow Wilson Center depuis 2005<sup>2</sup>, nous estimons que plus de 1800 produits étaient commercialement disponibles en janvier 2014, ce qui représente un chiffre d'affaires annuel de plus de 750 milliards de dollars alors que celui-ci ne totalisait que 224 milliards en 2009 (Jurron 2010). Ce marché devrait générer un chiffre d'affaires pouvant atteindre plus d'un billion de dollars en 2015 et fournir un emploi à deux millions de travailleurs (Roco 2011). Dans un tel contexte, tous les pays anticipent des développements et des applications dans une multitude de domaines ainsi que des retombées économiques potentielles colossales (Ostiguy et coll. 2010). Ne faisant pas exception à la règle, le Québec s'est doté d'une infrastructure ouverte de recherche universitaire en NT qui dispose d'équipements de pointe d'une valeur de 400 M\$. Plus de 400 personnes qualifiées qui, à leur tour, ont formé au-delà de 1000 étudiants gradués au cours des dernières années travaillent sur ces équipements (NanoQuébec 2012). Cette infrastructure est pilotée par NanoQuébec dont la mission est d'appuyer l'innovation en NT en vue d'accroître le développement économique durable du Québec. NanoQuébec a pour fonction d'agir comme élément central amorçant et animant des activités de concertation et de coordination et d'appuyer financièrement des initiatives favorisant les transferts technologiques. Or, le développement de ces NP en laboratoire, leur préparation industrielle et leur intégration dans différents produits impliquent déjà une exposition professionnelle potentielle de plusieurs centaines de travailleurs québécois. De nouvelles entreprises québécoises introduisent ces NP dans leurs procédés de fabrication, accroissant du fait même le nombre de travailleurs potentiellement exposés. D'ailleurs, certaines entreprises québécoises ont maintenant une capacité de production de NP à grande échelle. Cette tendance devrait se poursuivre pendant plusieurs années.

Alors que la recherche a déjà conduit à de nombreux transferts technologiques en matière de production industrielle, celle sur l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs (SST) accuse encore un important retard, même si elle s'est fortement développée dans la communauté scientifique au cours des dix dernières années. De multiples études et synthèses de la littérature ont permis de mettre en évidence que la fabrication et l'utilisation des

---

<sup>1</sup> Compte tenu de la clientèle ciblée et de ses habitudes terminologiques, nous avons préféré utiliser le terme nanoparticule (NP) dans ce rapport, en y incluant les nanotubes de carbone, même si les normes internationales ISO recommandent l'usage du terme nanomatériau.

<sup>2</sup> <http://www.wilsoncenter.org>

NP peuvent représenter d'importants risques en matière de SST et constituer une problématique émergente dont il faut se préoccuper (Stone et coll. 2009, Ostiguy et coll. 2010, Ostiguy et coll. 2014). En effet, non seulement la diversité de produits chimiques de dimension nanométrique commercialement disponibles ne cesse d'augmenter, mais les informations disponibles quant aux dangers spécifiques de ces substances ne sont encore, elles, que parcellaires.

La littérature nous offre très peu d'informations spécifiques relativement aux dangers de nature physique des NP qui peuvent causer des incendies ou des explosions (Ostiguy et coll. 2014). Néanmoins, pour une même masse de produits, les NP combustibles pourraient présenter un risque plus élevé d'explosion ou d'incendie que les particules de plus grande dimension en raison de leur surface spécifique plus importante, de la diminution possible de l'énergie d'allumage et de l'augmentation du taux de combustion (Pritchard 2004, Eckhoff 2009, Dufaud et coll. 2011, Li et coll. 2011). Ainsi, une particule relativement peu réactive pourrait devenir hautement combustible lorsqu'elle se trouve à des dimensions nanométriques. Parmi les rares données disponibles, Granier et Pantoya (2004) ont démontré qu'un alliage Al/MoO<sub>3</sub> de dimension nanométrique s'enflamme plus de 300 fois plus rapidement que le même alliage de dimension micrométrique. D'autre part, Dobashi (2009) croit en une augmentation marquée du risque d'explosion et d'incendie lié à la réduction du diamètre de particules réactives. Par exemple, le magnésium métallique aéroporté de dimension nanométrique détonnera et produira une explosion en présence d'une étincelle.

Sur le plan des dangers pour la santé, plusieurs effets toxiques ont déjà été démontrés chez l'animal (Ostiguy et coll. 2008, Yang et coll. 2008, Crosera et coll. 2009, Genaidy et coll. 2009, Stone et coll. 2009, Johnston et coll. 2010, Savolainen et coll. 2010, Simko et coll. 2010, Aschberger et coll. 2010a, Aschberger et coll. 2010b, Iavicoli et coll. 2011, NIOSH 2011, Sharifi et coll. 2012). Parmi ceux-ci, on a identifié des effets toxiques sur plusieurs organes (cœur, poumons, reins, système reproducteur, etc.) de même que des réactions génotoxiques et cytotoxiques. Par exemple, certaines particules causent des granulomes, de la fibrose et des réactions tumorales aux poumons. C'est ainsi qu'une substance reconnue peu toxique, comme le dioxyde de titane, démontre une toxicité pulmonaire lorsqu'elle est de dimension nanométrique (NIOSH 2011). Des études récentes suggèrent également que les nanotubes de carbone, qui sont très biopersistants, pourraient avoir les mêmes effets que certains types d'amiante (Shvedova et coll. 2005, Lam et coll. 2006, Ostiguy et coll. 2008, Poland et coll. 2008, Shvedova et coll. 2008, Castranova 2009, Shvedova et coll. 2012, NIOSH 2013). En raison de la problématique actuelle concernant l'amiante, cette similarité constitue une préoccupation majeure de la communauté scientifique internationale, notamment en matière de prévention. Globalement, la littérature scientifique concernant les données toxicologiques liées spécifiquement aux NP demeure limitée, mais préoccupante. En effet, il en ressort que, de façon générale et à masse égale, une NP sera souvent plus toxique que le même produit chimique dont les particules sont de plus grande dimension. C'est la raison pour laquelle il faut évaluer le risque au cas par cas et maîtriser l'exposition puisqu'il s'agit de la meilleure stratégie de gestion en SST (Ostiguy et coll. 2008 et 2014).

Dans un contexte où les données sont incomplètes pour la majorité des substances nanométriques, il est impossible de quantifier les risques pour les travailleurs dans la majorité des situations, car la toxicité des produits, le degré d'empoussièrement des milieux de travail ou leur potentiel à causer des incendies ou des explosions demeurent pas ou insuffisamment



documentés. Néanmoins, plusieurs études récentes (SWA 2009, Ostiguy et coll. 2010, Ostiguy et coll. 2014), suggèrent que les moyens usuels de maîtrise de l'exposition aux poussières fines et ultrafines seraient relativement efficaces pour maîtriser l'exposition aux NP. Dans un tel contexte, l'IRSST contribue à l'avancement des connaissances sur l'élaboration de stratégies d'évaluation de l'exposition professionnelle (Debia et coll. 2012) et sur l'efficacité des moyens de prévention, notamment en ce qui a trait aux gants (Dolez et coll. 2012) et aux appareils de protection respiratoire (Haghighat et coll. 2012, Mahdavi et coll. 2013). L'intégration dans des guides de bonnes pratiques des connaissances scientifiques actuelles couplées à l'expertise des préventeurs québécois (AFSSET 2006, INRS 2008, Ostiguy et coll. 2008, NIOSH 2009, SWA 2009, Ostiguy et coll. 2010, CSA 2012, De la Rosa Ducut J 2012, Nanosafety-Partnership-Group 2012, NIOSH 2012, Ricaud et coll. 2012, SWA 2012), rendent possible la gestion efficace des expositions professionnelles aux NP en milieu de travail québécois.

NanoQuébec a réalisé, en 2007, une enquête ayant permis d'établir le profil des chercheurs et producteurs québécois en NT. Depuis, ce profil a énormément évolué et plusieurs petites, moyennes et grandes entreprises ont maintenant emboîté le pas. Aujourd'hui, plusieurs entreprises achètent des NP afin de les introduire dans leurs procédés pour concevoir des produits à valeur ajoutée.

Actuellement, nous ne connaissons que très partiellement (surtout dans le secteur de la recherche universitaire) ceux qui manipulent des NP au Québec. Les données sont également incomplètes en ce qui a trait à la nature de ces NP, aux quantités manipulées ou encore aux conditions de travail et aux moyens de prévention utilisés. Dans un contexte où les incertitudes persistent sur les risques et sur la disponibilité de stratégies de maîtrise de l'exposition, il devient important d'identifier les milieux de travail qui manipulent ces produits afin de pouvoir les soutenir efficacement en matière de prise en charge de la prévention des lésions professionnelles. D'autant plus que, comme la littérature le rapporte et que nous l'avons nous-mêmes expérimenté de par nos travaux respectifs, le nombre de travailleurs potentiellement exposés est en pleine croissance.



## 2. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

Cette recherche vise à élaborer, conduire, interpréter et présenter les résultats d'un questionnaire d'enquête afin d'établir une cartographie de la recherche, de l'industrie et des travailleurs liés aux NP au Québec, de déterminer la nature des substances utilisées, des moyens de prévention mis en place et des besoins en matière d'avancement des connaissances scientifiques permettant de répondre aux besoins spécifiques des milieux de travail québécois.

Plus spécifiquement, le projet vise à :

- ✓ **Produire un questionnaire** d'enquête adapté au contexte québécois;
- ✓ **Valider ce questionnaire** auprès d'un groupe de représentants industriels et de chercheurs et y apporter les modifications nécessaires;
- ✓ **Générer une liste de secteurs d'activité** où l'on retrouve des utilisateurs et des producteurs de NT au Québec;
- ✓ **Expédier le questionnaire à plus de 600 établissements et groupes** de recherche et mettre en place une stratégie d'interventions téléphoniques pour optimiser le taux de réponse;
- ✓ **Compiler les résultats de l'enquête** afin de produire une cartographie de la NT au Québec tout en assurant la confidentialité requise au regard des informations spécifiques à chaque établissement.



### **3. MÉTHODOLOGIE**

#### **3.1. Élaboration et validation du questionnaire destiné aux entreprises et aux chercheurs du Québec**

Pour élaborer le questionnaire, une revue de la littérature a été conduite afin de retracer les enquêtes menées au Québec (NanoQuébec 2007, StatCan 2007, ISQ 2010) et dans d'autres pays (Hock et coll. 2006, Gerritzen et coll. 2006a, Gerritzen et coll. 2006b, Linberg 2007, AFSSET 2008, Mehta 2009, Balas et coll. 2010, CORDIS-FP7 2010, Schmid et coll. 2010, Song 2010), d'identifier les différents milieux de travail œuvrant dans le domaine des NT et de documenter les pratiques en matière de SST. Les études qui ont permis d'élaborer le questionnaire sont décrites dans la section résultats du rapport. S'inspirant de ces outils, un questionnaire adapté aux besoins spécifiques de l'étude a été élaboré. Il servira à documenter les milieux de travail où une exposition aux NP est possible, le type de produits mis en œuvre, les marchés visés, le personnel impliqué, les conditions de SST, les stratégies de prévention mises en place et les besoins en matière d'avancement des connaissances. Une fois complété, le questionnaire a été validé auprès d'un échantillon constitué de personnes directement impliquées en NT et appartenant aux domaines industriel (n = 3) et académique (n = 3) québécois. Les commentaires ont permis de bonifier le questionnaire dont la version finale a été traduite en anglais et validée par un spécialiste des sondages en ligne, possédant une vaste expérience du domaine des NT et ayant déjà fait des enquêtes d'envergure sur des sujets connexes à l'extérieur du Québec.

#### **3.2. Obtention de l'approbation éthique**

Ce projet a fait l'objet d'une évaluation par le Comité d'éthique de la recherche en santé (CÉRES) de l'Université de Montréal. La méthode d'échantillonnage prévue dans la demande consistait en un sondage en ligne. La liste des participants à l'étude a été élaborée à partir de données publiques et privées (liste AGY Consultation) par un agent de veille technologique faisant partie de l'équipe de recherche. Les chercheurs ou sociétés utilisant ou produisant des NP ou des produits contenant des NP étaient spécifiquement ciblés. Dans le cadre de la recherche, les participants en entreprise étaient sollicités en deux étapes. Dans un premier temps, le candidat était joint par téléphone afin de confirmer son implication dans le domaine. Si c'était le cas, le répondant était invité à participer à l'enquête. Une fois son consentement obtenu, nous lui avons fait parvenir un courriel d'invitation avec un numéro d'identifiant unique lui permettant de répondre au sondage en ligne. Le consentement était donc obtenu de deux façons : verbal lors des appels de recrutement puis via le site web qui indiquait clairement les modalités quant à la participation volontaire à l'étude. Il était également indiqué dans la demande qu'un participant ne pouvait se retirer de l'étude à partir du moment où il répondait au sondage et expédiait ses réponses électroniquement. Pour les chercheurs universitaires et les centres de recherche, ce consentement se faisait seulement via le site web. En effet, dans le courriel envoyé il était précisé que leur participation était volontaire et cette déclaration était réitérée dans le questionnaire à compléter en ligne.

L'équipe de recherche a porté une attention particulière à préserver l'anonymat des répondants et la confidentialité de leurs réponses. Toutes les mesures ont été prises pour dépersonnaliser toute information qui ferait l'objet d'une publication. L'équipe de recherche n'a pas prévu d'obtenir un

consentement écrit de tous les participants compte tenu du nombre substantiel de répondants et de la nature du projet qui rendait cette option très difficilement praticable. Par ailleurs, la demande d'approbation indiquait clairement qu'aucune compensation financière n'était prévue pour les participants au projet.

Par ailleurs, il était convenu que les participants recevraient par courriel un exemplaire du rapport de cette recherche ainsi qu'une lettre de remerciement les informant des conclusions générales.

### **3.3.Établissement de la liste des participants**

Une liste des industries, entreprises et structures de la recherche universitaire et publique (laboratoires de recherche universitaires et collégiaux, centres de recherche gouvernementaux) qui œuvrent dans les secteurs pouvant utiliser des NP de synthèse a été produite entre mars et août 2011. L'identification des secteurs d'activité économique potentiellement concernés a été faite à partir d'informations publiques provenant de NanoQuébec (NanoQuébec 2010), d'Industrie Canada<sup>3</sup> (Réseau des entreprises canadiennes d'Industrie Canada; Entreprises qui appliquent ou utilisent la NT; Fabricants de produits issus de la NT et Services liés à la NT) ainsi que des études et sondages réalisés auprès d'industries implantées sur la scène internationale (Gerritzen et coll. 2006a, Gerritzen et coll. 2006b, Mehta 2009, INRS 2010). Les différents secteurs d'activité identifiés dans ces documents nous ont permis d'élaborer une liste des entreprises et des structures de la recherche universitaire et publique pertinentes. Les coordonnées de notre population cible ont été repérées dans les répertoires d'Industrie Canada, des associations et regroupements industriels pertinents, de la Conférence des recteurs et des principaux des Universités du Québec (CREPUQ) et dans les bottins propres aux universités, collèges et centres de recherche concernés. Les recherches ont été faites à partir d'informations publiques (bases de données) disponibles sur le web pour chacun des secteurs et des champs identifiés. Tous les laboratoires de recherche et certaines entreprises des secteurs industriels dont les domaines d'activité étaient en rapport avec les NT ont été inclus dans la liste.

Les industries et compagnies sélectionnées œuvraient dans les domaines d'activité de la chimie, de l'aérospatial, du caoutchouc, de la plasturgie, de la pharmaceutique et de la neutraceutique, de la fabrication des équipements utilisés pour la manipulation des NP, de la photonique, de la métallurgie, du traitement et de la transformation du métal, du plastique, des composites, de la fonderie, du textile, des encres et pigments, de la fabrication de peintures, des cosmétiques et de la microélectronique. Quant aux chercheurs du domaine public, ils exerçaient dans les universités et collèges dans les domaines d'activité de la chimie, du génie (physique, chimique, mécanique, industriel, agroalimentaire, minier, métallurgique et des matériaux, logiciel et des technologies de l'information, biomédical), de la biologie, de la biochimie, des sciences du bois et de la forêt, de la pharmaceutique et de la pharmacologie, de la construction et de l'ingénierie environnementale, des matériaux de télécommunications, des bioproduits et biopolymères, de la bioconversion et du développement, de la biotechnologie, de la biologie moléculaire, de la biomécanique et des biomatériaux, de l'éco-toxicologie appliquée et des capteurs. La liste des chercheurs du domaine public comprend également ceux qui travaillent dans les différents instituts de recherche spécialisés tels que : l'Institut des matériaux industriels du Conseil national

<sup>3</sup><http://www.ic.gc.ca/eic/site/aimb-dgami.nsf/eng/00003.html> [Dernière consultation : 22 septembre 2014].

de recherches Canada (IMI-CNRC), l'Institut de recherche en biotechnologie du Conseil national de recherches Canada (IRB-CNRC), l'Institut canadien pour les innovations en photonique (ICIP) et l'Institut de recherche en énergie du Québec (IREQ).

Dans le cas des industries, les personnes ciblées étaient essentiellement des responsables de la recherche et du développement, des responsables de production, des directeurs généraux et des présidents. Pour ce qui est du domaine de la recherche universitaire et publique, tous les professeurs et les chefs de laboratoire des groupes de recherche des secteurs considérés comme pertinents ont été recensés.

La liste comprenait 2001 participants potentiels, dont 691, soit approximativement 35 % d'entre eux, provenaient du domaine de la recherche publique (recherche académique universitaire ou collégiale et recherche institutionnelle).

### **3.4. Mise au point du questionnaire en ligne**

Une fois validé, le questionnaire a été traduit en anglais et informatisé. Le logiciel Survey Monkey™ a été utilisé pour que les participants puissent le remplir directement en ligne. Ce logiciel permet également de compiler les résultats obtenus. Le questionnaire fait partie des annexes du présent rapport. Ses deux premières pages contenaient des informations sur le projet, les mesures de confidentialité et d'éthique mises en place ainsi que la procédure pour remplir et soumettre le questionnaire (voir Annexe 2).

Par ailleurs, pour garantir l'anonymat des réponses au questionnaire, un code d'identification a été attribué à chacun des participants à la recherche, tel que mentionné précédemment. Les fichiers électroniques web contenant les réponses des participants renferment donc uniquement ces codes alphanumériques. Le fichier de correspondance était protégé par un mot de passe et sauvegardé dans le serveur sécurisé d'AGY Consultation.

### **3.5. Collecte des données**

#### **3.5.1. Généralités**

Deux stratégies différentes ont été utilisées pour recueillir de l'information. Une première, cueillette active avec contact personnel, a été préconisée pour favoriser l'implication du milieu industriel. La deuxième, cueillette passive se limitant à un envoi par courriel contenant toutes les informations pertinentes, était destinée, d'une part, aux chercheurs du domaine public qui sont familiers avec la recherche et, d'autre part, aux entreprises qui n'ont pas pu être rejointes par téléphone après deux tentatives. Cette stratégie s'est avérée nécessaire afin de pouvoir réaliser le projet à l'intérieur du cadre financier, en respectant l'échéancier et en tenant compte du temps nécessaire pour rejoindre chacun des 2001 participants ciblés. Dans cette optique, les appels téléphoniques auprès des entreprises ont été privilégiés pour deux raisons majeures :

- il y avait peu ou pas d'information disponible sur leur rôle dans le domaine des NT comparativement à la recherche publique.

- les quantités manipulées, le nombre de travailleurs impliqués de même que les risques et les besoins de connaissances en santé et sécurité du travail pourraient être plus substantiels pour les entreprises que pour les laboratoires de recherche.

### **3.5.2. Industries**

Une fois la liste dressée, chaque participant du domaine industriel a été joint par téléphone entre les mois d'août et octobre 2011. En cas de non-réponse, un message était laissé et la personne recontactée dans les jours suivants le premier appel. La communication visait à présenter la nature et les objectifs du projet, les membres du groupe de travail et à solliciter leur participation. Une fois la présentation du projet complétée, les participants étaient interrogés afin de déterminer s'ils produisaient ou utilisaient des NP de synthèse. Dans le cas d'une réponse positive, leur accord était sollicité afin de leur faire parvenir, par courriel, les informations requises ainsi que leur code d'accès personnalisé pour qu'ils puissent accéder à l'une des deux versions du questionnaire (française et anglaise ; disponibles via Survey Monkey™) et le remplir sur le web. De plus, une ligne téléphonique a été réservée pour recevoir les appels de tous les participants qui nécessitaient une assistance pour répondre au questionnaire ou qui voulaient avoir plus de précisions quant à l'objet de la recherche.

Les compagnies et les industries qui n'ont pu être rejointes par téléphone ou qui n'ont pas retourné nos appels ont reçu à la mi-novembre 2011 un courriel les invitant à participer à l'étude et à remplir le questionnaire avec toutes les informations pertinentes.

Après un délai de deux semaines, soit au début du mois de décembre 2011, tous les participants du domaine industriel n'ayant pas encore répondu au questionnaire ont reçu un courriel de rappel. En raison des interruptions d'activités pendant la période des vacances de fin d'année, les participants qui n'avaient pas répondu au questionnaire ou au courriel d'invitation (pour se désister, ou pour indiquer qu'ils ne remplissent pas les critères de participation à cette étude) ont été appelés à nouveau en janvier 2012. Une dernière série de courriels de rappels a été envoyée aux participants qui ne pouvaient être rejoints ou à ceux qui déclaraient n'avoir pas reçu le courriel précédent.

### **3.5.3. Structures de la recherche universitaire et publique**

Tel qu'indiqué précédemment, les chercheurs des structures de la recherche universitaire et publique n'ont pas été contactés par téléphone. Un courriel présentant le projet et un code confidentiel pour accéder au questionnaire leur ont été envoyés directement au cours de la troisième semaine du mois de novembre 2011. Cependant, ils ont bénéficié du même soutien que les participants du milieu industriel pour remplir le questionnaire. En effet, une ligne téléphonique était réservée pour recevoir les appels de tous les participants qui avaient besoin d'assistance pour répondre au questionnaire ou encore pour obtenir des informations complémentaires sur le projet. Compte tenu des vacances de fin d'année, une deuxième série de courriels a été acheminée en janvier 2012 aux chercheurs qui n'avaient pas exprimé par courriel leur désir de ne pas participer au projet, mais qui n'avaient toujours pas rempli le questionnaire.



### **3.6. Analyse des données**

Puisque deux versions du questionnaire avaient été utilisées, une en français et l'autre en anglais, les deux fichiers de données produits par Survey Monkey™ ont d'abord été intégrés en un seul. Les données compilées ont ensuite été analysées avec les logiciels d'analyse statistique SPSS®, version 17 et Microsoft Excel®, version 2010. Le logiciel SPSS® a permis de produire les tableaux récapitulatifs, c'est-à-dire d'identifier tous les participants qui ont choisi une réponse donnée en fonction de leur secteur d'appartenance (industrie/structure de la recherche universitaire et publique) avec la fonction « tableaux croisés ». L'utilisation du logiciel Excel® a permis de produire tous les graphiques et figures présentés dans la section résultats. Par ailleurs, pour identifier le profil des répondants qui ont majoritairement indiqué une réponse donnée, les informations ont été analysées manuellement.



## 4. RÉSULTATS

### 4.1. Élaboration du questionnaire québécois visant à documenter les milieux de travail utilisant des NP

Afin de documenter les exigences relatives à la problématique du projet et de mettre en évidence des pratiques d'enquêtes utiles, nous avons procédé à une revue de la littérature. Nous avons privilégié, d'une part, les études portant sur la SST publiées dans d'autres pays et, d'autre part, celles visant le personnel administratif de différents secteurs industriels, notamment le manufacturier, et en retenant également certaines études réalisées au Québec et au Canada. Sur cette base, une douzaine d'études portant essentiellement sur les NT et couvrant différentes préoccupations ont été retenues: l'amélioration de la gouvernance, le partage de l'information entre les différents secteurs de la production, les besoins en recherche, les différents acteurs gouvernementaux, les programmes de financement ainsi que la stimulation économique en temps de crise (Hock et coll. 2006, Gerritzen et coll. 2006a, Mehta 2009), la santé et la sécurité des travailleurs manipulant des NT (Linberg 2007, CORDIS-FP7 2010, Schmid et coll. 2010, Song 2010), l'inventaire des entreprises et des technologies en place, l'état de l'avancement technologique en vue de stimuler la recherche (StatCan 2007, ISQ 2010, Richmond et coll. 2010), l'anticipation des réglementations futures et l'amorce de création d'un réseau de partage de connaissances (Richmond et coll. 2010, Song 2010).

Les travaux dont certains éléments ont été repris pour élaborer le questionnaire de l'étude (version française à l'Annexe 2) ainsi que leurs caractéristiques sont résumés dans le Tableau 1.

### 4.2. Résultats généraux de l'enquête

Une liste des industries et structures de la recherche universitaire et publique ayant potentiellement des activités en NT au Québec a été constituée pour un total de 2001 identifiants comprenant les noms et adresses. De ce nombre, 1310 sont issus du milieu industriel et 691 du domaine de la recherche universitaire et publique, dont 38 dans une institution collégiale.

#### 4.2.1. Participants du milieu industriel

Parmi les industries et les entreprises dont les noms figuraient sur la liste, 43 proviennent du domaine de la chimie, deux de l'aérospatial, 87 de l'industrie du caoutchouc, 178 de la plasturgie ou les plastiques, 123 du pharmaceutique, de la neutraceutique et de la génomique, 13 de la fabrication des équipements utilisés dans la manipulation des NP, 11 de la photonique, 118 de la métallurgie, du traitement et de la transformation du métal, 135 des composites, 148 d'activités liées à la fonderie, 15 du textile, 24 des encres et des pigments, 17 de la fabrication de la peinture, 67 des cosmétiques, 156 de la microélectronique, 134 d'activités liées à différentes technologies (ex. filtration membranaire), 17 de l'alimentaire et 22 de la fabrication de piles et de batteries. Des 1310 entreprises répertoriées, 129 étaient fermées, avaient un numéro de téléphone qui était hors service ou avaient considérablement limité leurs activités (fermeture prochaine ou dépôt de bilan). Ceci réduit le nombre des compagnies pouvant être considérées comme participantes à 1181.

**Tableau 1 : Études relatives à la SST ayant servi à l'élaboration du questionnaire.**

<b>Thème</b>	<b>Taux de réponse (TR)</b>	<b>Organismes participants</b>	<b>Référence/ région</b>
Évaluation et gestion des risques des nanomatériaux synthétiques 2006–2009	947 répondants TR : 58 %	Institut de santé au travail, Université de Lausanne et de Genève, Suisse	(Schmid et coll. 2010), Suisse (participation obligatoire selon la législation)
Dresser une cartographie et un inventaire en vue d'une préparation aux futures réglementations	Clôture de la collecte de données le 8 mars 2013 <a href="http://www.nano.org.uk/news/1288/">http://www.nano.org.uk/news/1288/</a>	Chemical Industry Association Nanotechnology Industries Association, Institute of NT and the Nano Knowledge Transfer Network (KTN)	(Kjellstrom et coll. 2010)Grande-Bretagne
Enquête sur les NP : repérage des entreprises et des salariés exposés, traçabilité des expositions et des moyens de prévention.	Taux de réponse non spécifié dans l'étude. L'étude a été reconduite jusqu'à la fin 2012	Institut national de recherche et de sécurité (INRS)	(INRS 2010), France
Est-ce que les entreprises engagées en NT sont économiquement viables?	270 répondants TR 22 %	National Centre For Manufacturing Sciences National Science Foundation	(Mehta 2009) États-Unis
Profil de la NT au Québec : industries, secteurs et employés	Confidentiel	E&B Data	(NanoQuébec 2007)
Phase 2 : Sondage mondial sur les pratiques en environnement de travail	337 répondants TR : 19 %	University of California, Santa Barbara	(Gerritzen et coll. 2006a, Gerritzen et coll. 2006b) Monde

Parmi les 1181 entreprises de cette liste, nous avons rejoint 650 lors des appels téléphoniques. Pour les 531 entreprises restantes, les personnes ressources de l'entreprise étaient soit absentes, soit trop occupées pour participer à l'étude. Ces mêmes personnes n'ont pas retourné nos appels. Des participants du milieu industriel contactés, nombreux sont ceux qui ont répondu qu'ils n'étaient pas intéressés à participer à la recherche ni au sondage sans même avoir entendu l'objet de la recherche.

Les 650 personnes ressources rejointes incluent celles qui nous ont affirmé ne pas utiliser ou produire des NP et celles qui nous ont répondu positivement. Nous avons donc joint par téléphone 55 % des personnes ciblées dans la liste de départ des établissements susceptibles d'utiliser des NP. De ces 650 personnes, 48 ont reconnu produire ou utiliser des NP soit 7,4 % des répondants. Ceux-ci provenaient des secteurs d'activité suivants : industrie du caoutchouc, des plastiques, de la pharmaceutique et de la génomique, de la fabrication des équipements utilisés dans la manipulation des NP, de la métallurgie, du traitement et de la transformation du métal, des composites, du textile, de la fabrication de peintures, des cosmétiques, de la microélectronique et des activités liées à différentes technologies (p. ex. filtration membranaire). Seulement deux d'entre eux ont dit refuser de répondre au questionnaire bien qu'ils aient reconnu utiliser des NP dans leurs activités ce qui nous ramène à 46. De ce nombre, seulement 14 participants à qui le questionnaire a été envoyé l'ont complété, correspondant ainsi à un taux de réponse global de 30 % (14/46).

Dix-sept participants sur les 650 contactés ont répondu qu'ils croyaient que leurs matériaux contenaient des traces de NP, mais ils n'en étaient pas certains et ne connaissaient pas les constituants exacts des matériaux utilisés. Treize entreprises sur les 650 contactées ont reconnu avoir utilisé des NP dans le passé ou encore fait de la recherche dans le but d'introduire ce type de matériaux dans leurs activités. Ils ont aussi déclaré avoir cessé de le faire dans la plupart des cas pour des raisons de faible rentabilité. Neuf des 650 entreprises ont déclaré ne pas utiliser ou produire des NP au moment de l'étude, mais ont néanmoins souligné leur grand intérêt pour l'utilisation des NT dans les prochaines années.

En soustrayant les participants contactés par téléphone qui ont déclaré ne pas utiliser ou produire des NP de notre liste initiale de 1181 entreprises, il nous reste 579 entreprises participantes. Une copie du questionnaire ainsi que la description de l'étude leur ont été envoyées. Les 17 participants qui ont déclaré ne pas être certains de la présence de NP dans leurs produits ont demandé à recevoir le questionnaire pour s'assurer de la pertinence de leur participation. De plus, certains participants qui s'intéressaient à introduire dans le futur des NP dans leurs activités ont voulu avoir le questionnaire pour s'imprégner du type de recherche qui était fait sur les aspects santé et sécurité du travail liés à la manipulation des NT. Un certain nombre de dirigeants d'entreprise ont suggéré de leur envoyer le questionnaire pour qu'ils le fassent parvenir à leurs entreprises partenaires qui, elles, utilisaient ou produisaient des NP.

Un total de 51 entreprises a complété le questionnaire. Dix d'entre elles qui n'ont pu être contactées directement par appel téléphonique, nous ont répondu par courriel que leurs activités ne comportaient pas de NP. Enfin, quatre participants qui n'ont pu être joints au téléphone, mais qui ont reçu un courriel de participation de notre part, nous ont fait parvenir un message de désinscription.

La méthodologie utilisée visait, d'une part, à identifier les milieux de travail manipulant des NP au Québec et, d'autre part, à obtenir de l'information spécifique sur différents aspects pouvant avoir un impact sur la santé et la sécurité de leurs travailleurs.

## ***4.2.2. Participants du domaine de la recherche universitaire et publique***

### **4.2.2.1. Secteur collégial**

Les participants du secteur collégial ont été contactés par téléphone. Des 38 participants potentiels inclus dans notre liste, quatre ont déclaré lors de notre enquête préliminaire qu'ils utilisaient des NP et 11 qu'ils n'en utilisaient pas. Le questionnaire ainsi que la description de l'étude ont été envoyés à 23 des 27 participants potentiels restants. Un collègue n'a pas reçu le courriel d'invitation parce que nous n'avons pu identifier de personne ressource œuvrant dans la recherche sur les NT (impossible de joindre une personne attitrée par téléphone) et trois ont demandé à être retirés de la liste des participants. Cependant, aucun des 23 collègues à qui un courriel d'invitation a été envoyé (y compris ceux qui ont déclaré utiliser des NP) n'a complété le questionnaire de l'étude.

### **4.2.2.2. Domaine universitaire et centres de recherche**

Les participants de ce domaine n'ont pas été contactés par téléphone, mais ils ont bénéficié du même soutien que les autres groupes. Un total de 653 courriels a été envoyé. Trente-sept (37) courriels n'ont pu être transmis, trois participants ont demandé à être retirés de la liste, cinq ont répondu qu'ils n'utilisaient pas de NP et quatre ont indiqué qu'ils étaient absents du bureau pendant la période de l'étude. Des 616 participants qui ont reçu nos courriels, 39 ont complété le questionnaire soit 6,3 %. Le Tableau 2 récapitule les détails concernant le nombre de personnes sollicitées dans les deux secteurs concernés par l'étude.

**Tableau 2 : Tableau récapitulatif du nombre de participants selon leurs réponses à l'étude.**

<b>Catégorie de participant</b>	<b>Caractéristiques spécifiques</b>	<b>Nombre de participants de cette catégorie</b>
Industrie	Total en début d'étude	1310
	Industries fermées, numéro non fonctionnel, fermeture prochaine	129, restent 1181 participants potentiels
	Participants rejoins par téléphone	650, taux de succès = 650/1181 soit 55 %
	Participants contactés par téléphone qui ont reconnu utiliser des NP	48, taux d'utilisation parmi les participants contactés = 48/650 soit 7,5 %
	Participants à qui les questionnaires ont été envoyés	577, soit 49 % des participants de la liste initiale (46 participants rejoins par téléphone et intéressés à recevoir le questionnaire +531 participants non rejoins par téléphone)
	Participants qui ont complété le questionnaire	51, soit 8,4 % des participants à qui les questionnaires ont été envoyés. Seulement 29 % (soit 14/48) des participants qui ont déclaré utiliser des NP lors de l'enquête téléphonique ont répondu au sondage.
Académique – Collégial	Participants en début d'étude	38
	Participants qui ont reconnu produire ou utiliser des NP	4, soit 10 % du nombre initial de participants
	Participants qui ont déclaré ne pas utiliser des NP	11, soit 32 % du nombre initial de participants
	Participants qui ont répondu au questionnaire	0 sur les 23 à qui les questionnaires ont été envoyés
Académique-Universitaire et Centres de recherche	Participants en début d'étude	653
	Participants qui ont répondu ne pas utiliser des NP, nombre de participants absents	5 non-utilisateurs, 4 absents
	Participants n'ayant pas reçu le courriel	37
	Participants ayant complété le questionnaire	39 sur les 616 qui ont reçu le questionnaire soit 6,3 %.

### **4.3. Cartographie des utilisateurs producteurs des nanotechnologies au Québec dans les milieux industriels et de la recherche**

#### **4.3.1. Estimation des ressources humaines des industries/ structures de la recherche universitaire et publique touchant aux nanotechnologies**

Sur les 90 participants qui ont complété le questionnaire, 89 ont indiqué le nombre de personnes travaillant dans leur industrie ou dans leur structure de la recherche universitaire et publique (Tableau 3). La majorité (93 %) des répondants sont dans des structures qui emploient un nombre de personnes inférieur ou égal à 250. Les industries comptant cinq à 10 employés et celles de 11 à 50 employés représentent à elles seules 64 % des répondants. On constate aussi que 92 % des industries utilisant ou produisant des NT sont des petites et moyennes entreprises qui embauchent 250 employés ou moins.

De manière surprenante, quatre des participants du domaine de la recherche universitaire et publique ont indiqué que leurs organisations comptaient entre 101 et 250 personnes (n=2) ou encore plus de 500 personnes (n=2). Ceci suggère que ces participants ont probablement indiqué la taille de leur département, de leur faculté ou de leur centre de recherche.

La méthodologie utilisée visait, d'une part, à identifier les milieux de travail manipulant des NP au Québec et, d'autre part, à obtenir de l'information spécifique sur différents aspects pouvant avoir un impact sur la santé et la sécurité des travailleurs.

Les auteurs n'ont pas tenté d'établir un taux de réponse global au questionnaire puisqu'il est normal que les personnes l'ayant reçu, mais n'étant pas impliquées en NT n'y aient pas répondu. Puisque le nombre réel de ceux qui effectivement auraient pu répondre est indéterminable, il devient impossible d'y comparer le nombre réel de répondants. Le chiffre le plus significatif est sans doute le nombre d'établissements industriels ayant confirmé l'utilisation de NP et dont 29 % ont répondu au questionnaire. Le taux de réponse dans le domaine de la recherche est par contre relativement faible, surtout en tenant compte du ciblage plus performant des clientèles à partir des données disponibles. Cet écart est possiblement lié, tout au moins en partie, au fait qu'aucune démarche particulière (contact téléphonique ou sensibilisation personnelle) n'a été réalisée auprès de cette population.



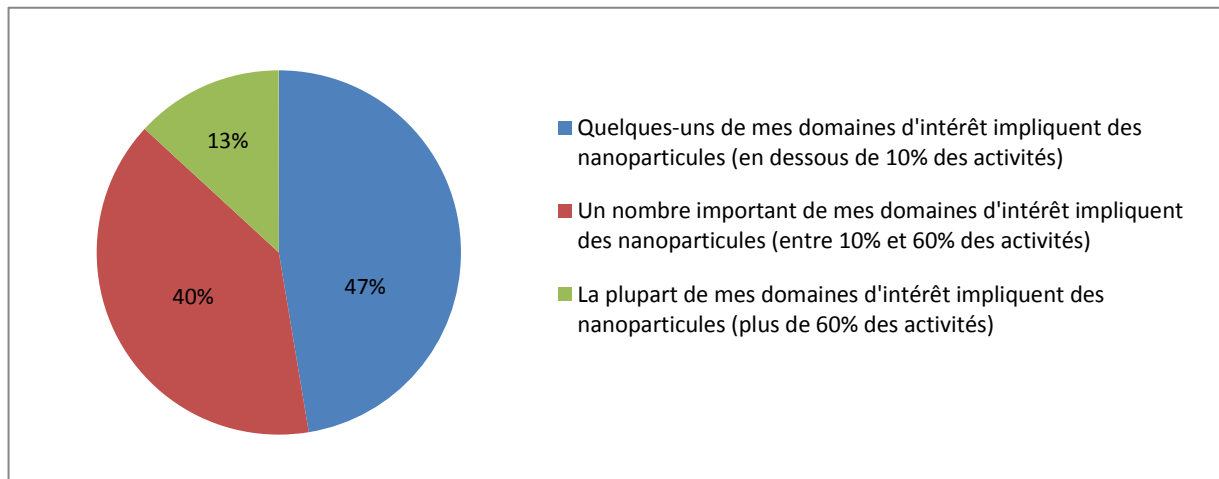
**Tableau 3 : Profil des ressources humaines des organisations auxquelles appartiennent les participants.**

Taille de l'entreprise/ recherche universitaire	Nombre de répondants	
	Industries	Structures de la recherche universitaire et publique
Moins de 5 personnes	4	4
5-10 personnes	10	17
11-50 personnes	18	12
51-100 personnes	11	1
101-250 personnes	4	2
251-500 personnes	1	0
Plus de 500 personnes	3	2
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>38</b>

### 4.3.2. Nanoparticules dans les activités

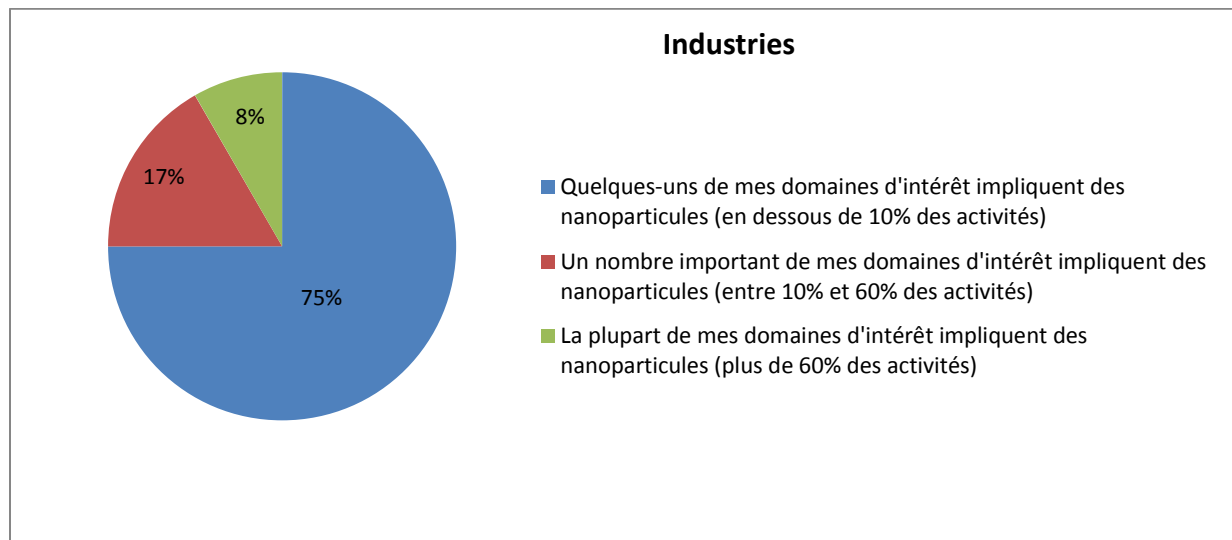
L'importance que pouvait représenter l'utilisation des NP dans les activités totales des répondants a été examinée. Des 90 participants qui ont complété le sondage, 86 (soit 96 %) ont répondu à cette question. Les résultats compilés séparément pour les répondants du secteur de la recherche universitaire et publique et ceux du milieu industriel sont présentés respectivement aux Figures 1 et 2.

On constate qu'un peu plus de la moitié (soit 53 %) des répondants du secteur de la recherche universitaire et publique ont des domaines d'intérêt dont plus de 10 % des activités impliquent les NP. On note aussi qu'une bonne partie des répondants (47 %) œuvrent dans des domaines qui comportent peu de NP (moins de 10 % des activités).



**Figure 1 : Importance des nanoparticules dans les activités, participants du domaine de la recherche universitaire et publique.**

Le profil des industries est très différent de celui du domaine de la recherche universitaire et publique. Soixante-quinze pour cent (75 %) des participants du milieu industriel ont des domaines d'intérêt dont moins de 10 % des activités comportent des NP. Cela suggère que l'on a surtout des industries établies dont la plupart sont des intégrateurs des NT. Les participants du milieu industriel dont plus de 60 % des activités liées à des NP (8 %) sont ceux dont les entreprises fabriquent et distribuent des NP.



**Figure 2 : Importance des nanoparticules dans les activités, participants du milieu industriel.**

#### ***4.3.3. Types de marchés concernés pour les participants du milieu industriel***

Tous les participants du milieu industriel ont indiqué les types de marchés qu'ils desservent. Cependant, plusieurs participants du secteur de la recherche universitaire et publique (n=11) y ont également répondu (Figure 3 et Tableau 4).

Les domaines des produits et procédés chimiques (30 %), de la santé, de la biotechnologie et de la pharmaceutique (27 %), ainsi que celui des matériaux composites et des articles de sport (27 %) regroupent chacun les activités de plus du quart des 62 répondants.

Les autres marchés desservis par plus de 20 % des participants du milieu industriel sont les suivants : équipements et outils de manipulation (servant à la manutention) ainsi que transport terrestre et maritime.

Dix-sept pour cent (17 %) des répondants ont indiqué qu'ils desservaient des marchés autres que ceux que le questionnaire leur proposait. Les différentes réponses indiquées dans la catégorie «Autre» sont présentées dans le Tableau 4, la plus fréquemment rapportée étant « la quincaillerie et magasin de détail ». Un participant du milieu industriel a indiqué qu'il ne desservait aucun marché alors qu'un autre a répondu « Aucune NP » même si l'étude concernait les industries qui utilisaient ou produisaient des NP.

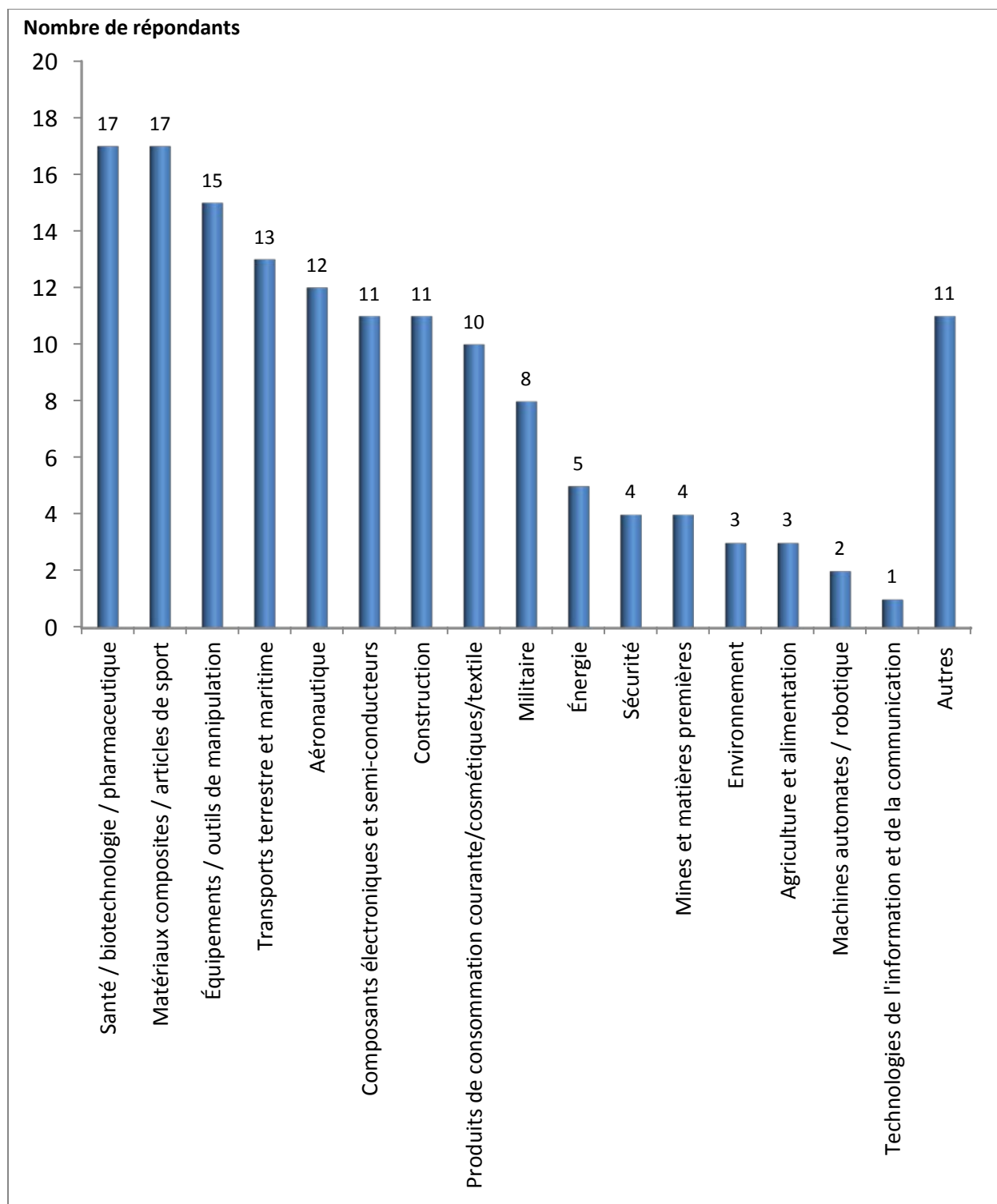


Figure 3: Marchés desservis par les participants du milieu industriel.

**Tableau 4 : Types de marchés desservis par les répondants qui ont sélectionné la catégorie « Autre ».**

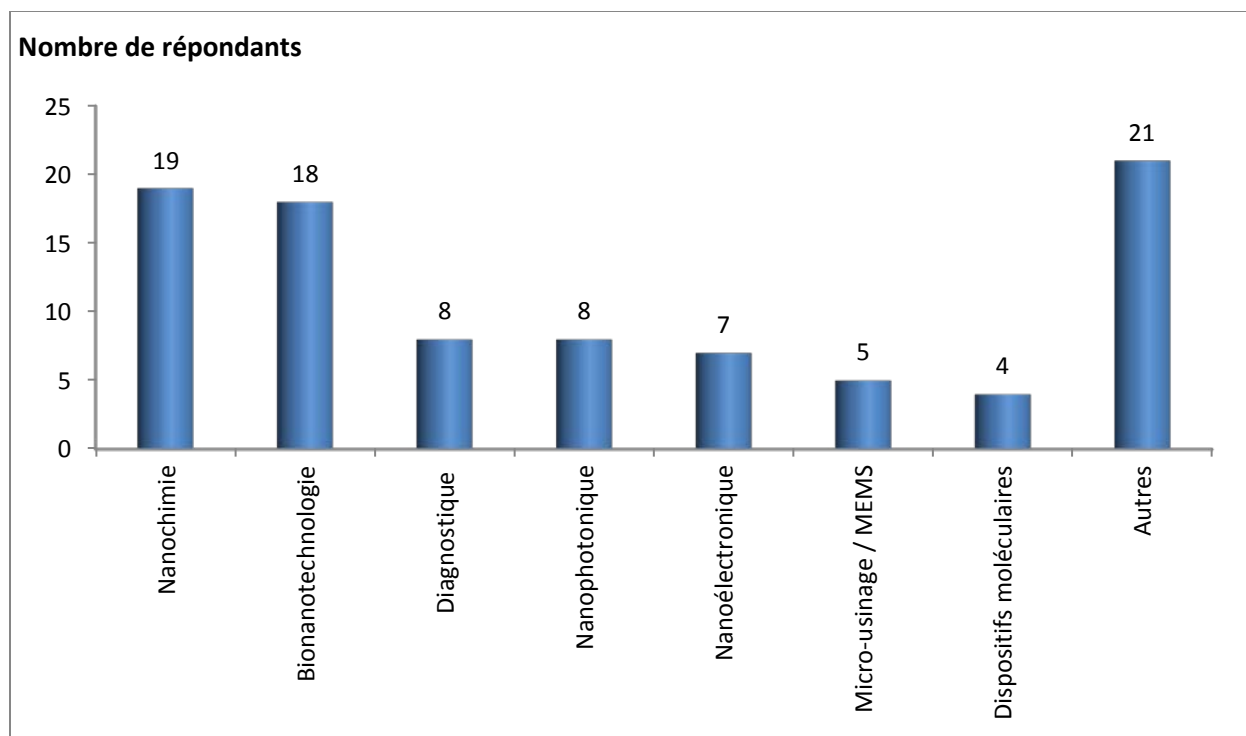
Types de marchés desservis	Nombre de répondants
Quincaillerie et magasin de détail	2
Équipements et services de laboratoire	1
Injection de plastique	1
Électronique, implants, boîtiers, encapsulation	1
Bioplastiques	1
Traitement des eaux et biocapteurs	1
Emballage industriel et alimentaire	1
Aucun	2
Aucune nanoparticule	1

#### **4.3.4. Objets de recherche pour les participants du domaine de la recherche universitaire et publique**

La majorité (95 %) des participants du domaine de la recherche universitaire et publique ainsi que dix participants du domaine industriel ont répondu à cette question pourtant dédiée uniquement aux répondants de la recherche universitaire et publique. Il se peut que les industries qui ont répondu à cette question soient celles qui ont également des départements de recherche et développement. L'ensemble des résultats est compilé à la Figure 4 et au Tableau 5.

Respectivement 40 % et 38 % des répondants font de la recherche dans le domaine de la nanochimie et de la bionanotechnologie. La nanochimie regroupe les recherches portant sur l'électrochimie, les micropiles à combustible, la catalyse, les céramiques, les sciences de surface, les NP et les membranes. Quant à la bionanotechnologie, elle regroupe les recherches portant sur les biomarqueurs, les biocapteurs, les études de l'ADN et de l'ARN, les protéines et la protéomique, la génomique, les produits pharmaceutiques, la libération de médicaments (*drug delivery*) et l'imagerie médicale.

Une grande partie des répondants (45 %) a indiqué desservir des marchés autres que ceux qui leur ont été proposés (Figure 4). Le marché le plus fréquemment concerné dans la catégorie « Autres » est celui de la SST et environnement en rapport avec l'utilisation des NP (Tableau 5). Tout comme pour le milieu industriel, un participant a déclaré n'utiliser aucune NP même si la recherche concernait les structures de la recherche universitaire et publique qui manipulent ces matériaux. De plus, 10 participants sur les 21 qui ont indiqué desservir des marchés « autres », soit près de 50%, n'ont pas précisé la nature de leur marché.



MEMS : Systèmes micro-électro-mécaniques (Microelectromechanical Systems)

**Figure 4 : Marchés desservis par les participants du domaine de la recherche universitaire et publique.**

**Tableau 5 : Types de marchés desservis par les répondants des structures de la recherche universitaire et publique ayant sélectionné la catégorie « Autres ».**

Autres types de marchés desservis	Nombre de répondants
Santé et sécurité du travail et environnement*	4
Électrochimie	1
Nanocomposites à matrice thermoplastique	1
Composites et matériaux en général	1
Agroalimentaire	1
Métallurgie des poudres et mise en forme de poudres	1
Peintures, adhésifs	1
Physique des plasmas; simulations numériques.	1

\*SST et environnement: Biodisponibilité et toxicité des NP; environnement et dépollution; SST en général; équipement de protection contre les NP.

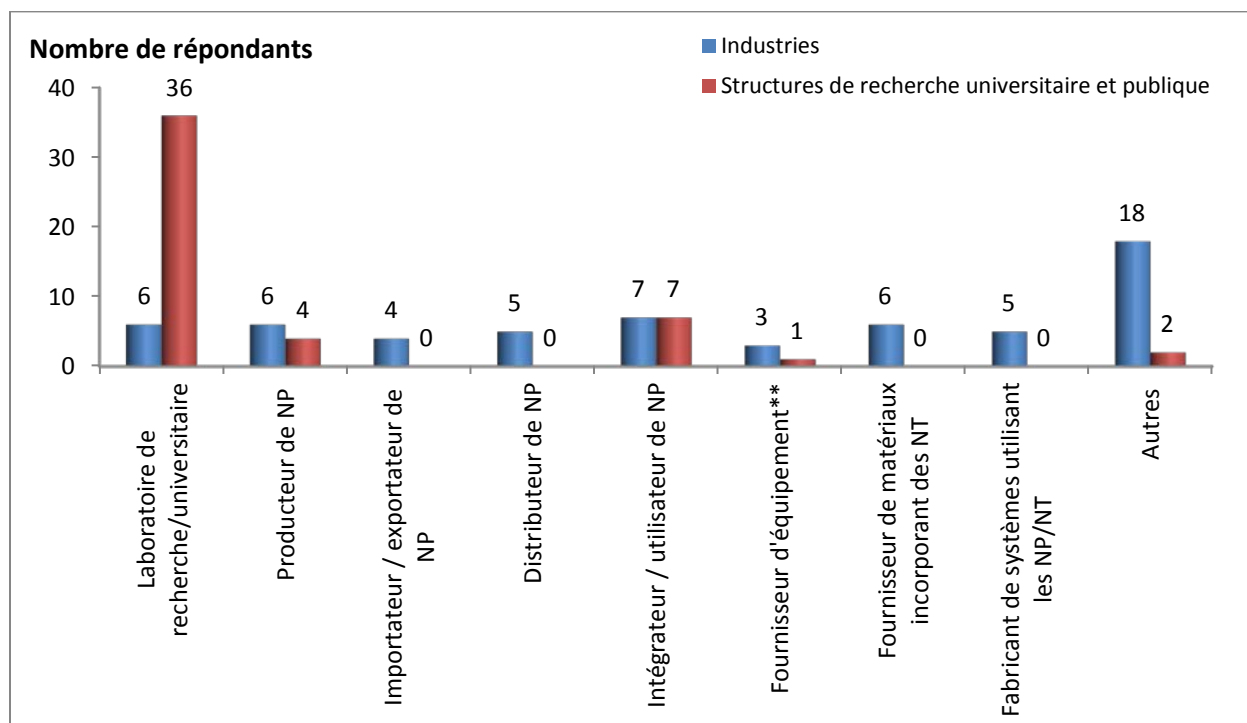
### 4.3.5. Activités des industries et des structures de la recherche universitaire et publique

La Figure 5 et le Tableau 6 présentent les résultats concernant les secteurs d'activités identifiés par les répondants du domaine industriel et du secteur de la recherche universitaire et publique. Plusieurs d'entre eux ont indiqué que leurs industries ou structures de recherche avaient plus d'une activité. Seuls 7 % des participants n'ont pas répondu à cette question.

La plupart des participants du domaine de la recherche universitaire et publique (n=36) se sont présentés comme œuvrant dans des laboratoires de recherche à l'échelle nanométrique de matériaux ou structures. On remarque aussi que six des participants du milieu industriel ont indiqué avoir des activités de recherche, ce qui soutient notre hypothèse précédente selon laquelle une partie des répondants de cette catégorie ont des départements de recherche et développement.

Certaines activités (importation/exportation de NP, distribution de NP, fourniture de matériaux incorporant des NT et fabrication de systèmes utilisant les NP/NT) ne sont exercées que par les participants du secteur industriel. Par ailleurs, on remarque que les participants du milieu industriel tout comme ceux du secteur de la recherche universitaire et publique sont engagés dans la production de NP et la fourniture d'équipements de manipulation et/ou de production des NP.

Des participants (n=20) ont indiqué avoir des activités autres que celles qui ont été proposées. Cinq d'entre eux ont répondu qu'ils n'ont aucune activité et deux qu'ils n'utilisaient aucune NP.



\*\*Fournisseur d'équipements pour la production et/ou la manipulation des nanoparticules

**Figure 5 : Secteurs d'activités des répondants en fonction de leur appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique).**

**Tableau 6 : Types de secteurs d'activité indiqués par les participants ayant sélectionné la catégorie « Autre » en fonction de leur appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique).**

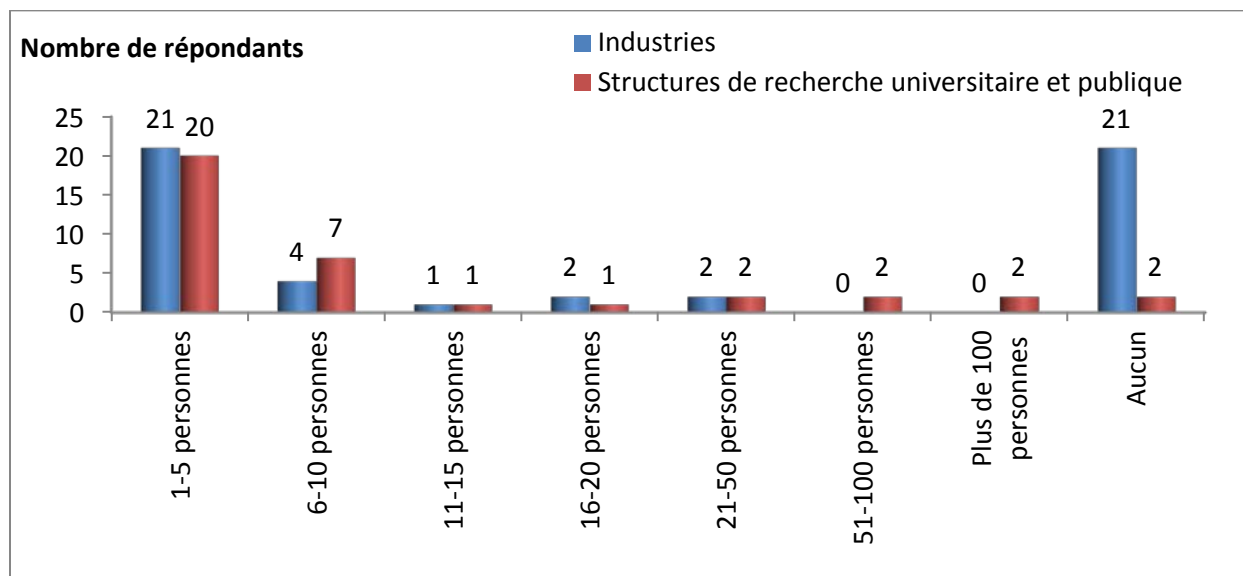
Autres types de secteurs d'activité	Industries	Structures de la recherche universitaire et publique
Atelier d'usinage/ Injection de pièces plastiques	2	0
Aucun/Aucune/ Aucun de ceux proposés/Autres	7	0
Transforme des thermoplastiques qui contiennent parfois des NP	1	0
Laboratoire de recherche filtration des NP (SST et environnement)	0	1
Transformateur de matériaux qui incluent des nanoparticules	1	0
N'utilise aucune NP	2	0
Pièces coulées	1	0
Support au développement de la nanotechnologie dans des projets RD	1	0
Simulations numériques des plasmas	0	1
Futur intégrateur/utilisateur de nanoparticules	1	0
Producteur de textiles non tissés	1	0
Développement de produits à base de caoutchouc	1	0

#### ***4.3.6. Implication directe des employés dans l'utilisation des NP***

L'identification du nombre d'employés œuvrant directement dans la production et/ou la manipulation des NP nous informe sur l'étendue de la population potentiellement exposée aux NP. La majorité des participants, soit 98 % a fourni l'information voulue (Figure 6). La plupart des répondants du milieu industriel et du secteur de la recherche universitaire et publique (respectivement 21 et 20) ont indiqué qu'entre un et cinq de leurs employés travaillent dans des secteurs où l'on manipule et/ou produit des NP. Pour quelques participants (quatre du milieu industriel et sept du secteur de la recherche universitaire et publique), le nombre d'employés directement concernés par la manipulation et/ou la production de NP varie entre six et 10 personnes. De façon surprenante, plusieurs des participants du milieu industriel ont indiqué qu'aucun de leurs employés n'était directement impliqué dans la manipulation des NP. Cependant, une partie de ceux qui ont répondu « Aucun » a aussi reconnu produire ou manipuler des NP.

Bien que chacun des répondants doive indiquer le nombre de personnes œuvrant directement dans le domaine des NT en industrie ou dans le secteur de la recherche universitaire et publique, il semblerait que certains des répondants du secteur de la recherche universitaire et publique ont indiqué le nombre de personnes faisant partie de leur groupe de recherche, de leur département,

voire de leur faculté. Ainsi, quatre des participants du secteur de la recherche universitaire et publique chiffrent à 51-100 (n=2) ou à plus de 100 (n=2) le nombre de personnes directement impliquées dans la manipulation et/ou la production de NP.



**Figure 6 : Nombre de travailleurs directement impliqués dans la manipulation ou la production des NP en fonction du secteur d'appartenance des répondants (industrie/structures de la recherche universitaire et publique).**

#### 4.3.7. Formation des travailleurs

Quatre-vingt-treize pour cent des participants ont indiqué le niveau de formation des personnes travaillant dans leurs organisations (Figure 7). La plupart des employés du secteur de la recherche universitaire et publique sont au moins titulaires d'un baccalauréat. Une proportion élevée (92 %) a terminé un doctorat ou l'équivalent. Dans la catégorie autres, un participant a indiqué avoir des employés ayant complété une formation postdoctorale.

Dans le milieu industriel, on dénombre aussi une forte proportion d'employés ayant un diplôme universitaire, même si la distribution est plus large que dans le secteur de la recherche universitaire et publique. On remarque aussi qu'un certain nombre d'employés de ce secteur n'a aucune formation de base (n=4), catégorie absente chez les participants du secteur de la recherche universitaire et publique. On note le niveau de scolarité élevé (collégial et universitaire) des employés des industries manipulant/produisant des NP. Cela suggère que, dans notre échantillon, les gens qui utilisent ou produisent des NP disposent d'un haut niveau d'expertise. Il en est de même pour les entreprises faisant de la R-D. Dans la catégorie « Autre », un participant a indiqué qu'une partie des employés étaient formés sur place, un autre a précisé qu'il n'y avait pas présence de NP dans son travail alors que deux répondants ont coché « Aucun/Aucune personne ».



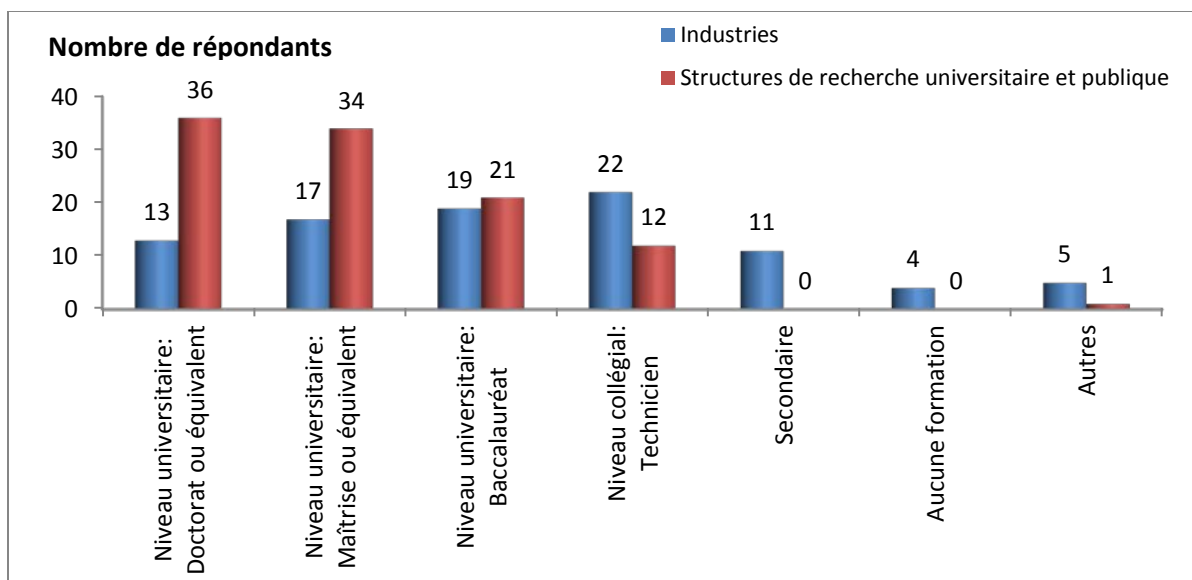


Figure 7 : Formation des travailleurs dans les structures des participants en fonction de leur domaine (industrie/structures de la recherche universitaire et publique).

### 4.3.8. Types, formes matérielles, provenance et quantités annuelles de NP manipulées/produites

Il a été demandé aux participants du milieu industriel comme à ceux du secteur de la recherche universitaire et publique de déterminer sous quelle forme ils recevaient les NP, leur provenance, mais également quelles quantités annuelles de NP ils produisaient ou manipulaient. La majorité des participants (79 % soit 71 sur 90) ont répondu à cette question. Les informations ont été compilées séparément pour les participants du milieu industriel (Figures 8, 10 et 12) et pour ceux du secteur de la recherche universitaire et publique (Figures 9, 11 et 13). En plus des divers types de NP que proposait le questionnaire, les participants ont rapporté utiliser ou produire d'autres formes de ces matériaux. Les Tableaux A, B, C de l'Annexe 1 contiennent la liste de ces particules et des informations relatives à leur provenance et aux quantités approximatives de NP manipulées ou produites.

#### 4.3.8.1. Types et formes matérielles

##### 4.3.8.1.1. Participants du milieu industriel

Les types de NP les plus utilisés par ces participants sont le noir de carbone et les nano-argiles (Figure 8). Leur utilisation a été rapportée par 20 % des participants, soit sept sur 35. Suivent ensuite les nanotubes de carbone multiparois (n=6), le dioxyde de silicium (n=5), le graphène et la cellulose nanocristalline (n=4). Les NP les moins manipulées ou produites dans le secteur industriel sont les oxydes d'aluminium et l'oxyde de zinc (n=3), le dioxyde de titane (n=2), les nanotubes de carbone simple paroi et les fullerènes (n=2) et les nanotubes de carbone double paroi (n=1). Aucun des participants du milieu industriel ayant répondu au questionnaire n'a déclaré utiliser les NP d'argent, d'oxyde de fer, d'or, d'oxyde de cérium, ainsi que les dendrimères ou les points quantiques.

En ce qui concerne les formes matérielles (Figure 8), les NP sont plus souvent utilisées sous la forme de poudre ou de particules. Cependant, on les trouve également sous forme de suspensions dans les solvants ou de films minces. Par contre, les nanocellulose sont exclusivement manipulées sous forme de poudre et de particules dans le milieu industriel. Aucune des NP décrites ne semble être utilisée en aérosol, en gel ou sous forme d'agglomérat de faible volatilité par les répondants du secteur industriel.

#### **4.3.8.1.2. Participants du domaine de la recherche universitaire et publique**

Les résultats (Figure 9) montrent que les participants du secteur de la recherche universitaire et publique utilisent une plus grande variété de NP, dont les plus fréquentes sont l'or et le noir de carbone auxquels respectivement 31 % et 28 % des participants reconnaissent avoir recours. En troisième position, on retrouve le dioxyde de titane (10/36), les nanotubes de carbone multiparois (9/36) et la cellulose nanocristalline (9/36), chacun étant utilisé par au moins 25 % des répondants. Les nanotubes de carbone simple paroi et les NP d'oxyde de fer suivent avec une utilisation rapportée par respectivement huit et sept des 36 répondants, les NP d'argent et les nano-argiles sont tous les deux manipulés ou produits par six des 36 répondants alors que l'oxyde d'aluminium est utilisé par seulement cinq répondants. Les NP les moins utilisées ou manipulées dans le secteur de la recherche universitaire et publique sont par ordre décroissant les nanotubes de carbone double paroi et les points quantiques (4/36), le graphène (3/36), l'oxyde de zinc (2/36) et les fullerènes (1/36). Contrairement au milieu industriel, les NP d'argent, d'oxyde de fer, d'or, d'oxyde de cérium, les dendrimères et les points quantiques sont manipulées ou produites par des participants du secteur de la recherche universitaire et publique.

En ce qui concerne les formes matérielles (Figure 9), tout comme dans le secteur industriel, les NP sont majoritairement utilisées ou produites sous la forme de poudre et de particules par les répondants du secteur de la recherche universitaire et publique. Les NP sont également utilisées sous la forme de suspensions dans les solvants et de films minces. Elles sont plus rarement intégrées dans un solide ou utilisées sous la forme d'agglomérat de faible niveau d'empoussièremment.

#### **4.3.8.2. Provenance des NP**

##### **4.3.8.2.1. Participants du milieu industriel**

Les NP manipulées ou produites proviennent majoritairement du Canada et des États-Unis (Figure 10). Celles en provenance principalement du Canada sont le noir de carbone, la cellulose nanocristalline alors que le graphène, les nano-argiles et les nanotubes de carbone multiparois proviennent fréquemment des États-Unis. Les nanotubes de carbone à simple ou double paroi, l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de zinc viennent principalement des États-Unis alors que c'est exclusivement le Canada qui approvisionne le Québec en dioxyde de titane et en cellulose nanocristalline. De plus, selon les répondants, aucune des NP manipulées au Québec n'est importée de l'Afrique ou de l'Océanie.

#### **4.3.8.2.2. Participants du secteur de la recherche universitaire et publique**

La provenance des NP utilisées par les répondants du secteur de la recherche universitaire et publique est plus variée (Figure 11). Cependant, la majorité de ces NP proviennent du Canada et des États-Unis. La cellulose nanocristalline, les NP d'or, le noir de carbone, les nanotubes de carbone simple paroi et multiparois, les NP d'argent et le dioxyde de silicium proviennent principalement du Canada alors que le dioxyde de titane et les nano-argiles sont importés majoritairement des États-Unis. Seuls les États-Unis expédient au Québec les fullerènes et les nano-argiles utilisés dans ce secteur alors que les dendrimères proviennent uniquement du Canada. Contrairement au milieu industriel, beaucoup de participants de ce secteur produisent eux-mêmes les NP qu'ils manipulent dans leurs laboratoires.

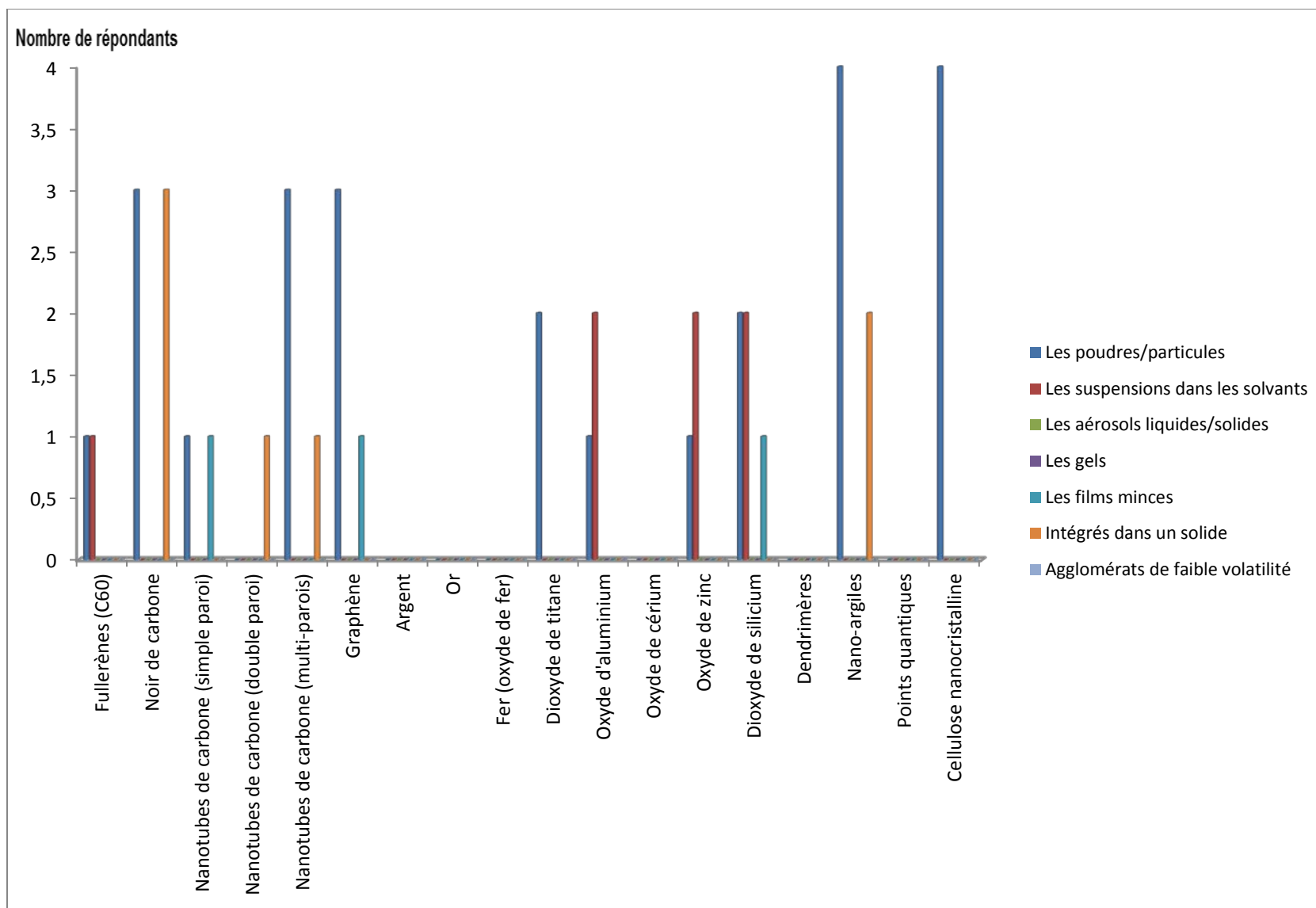
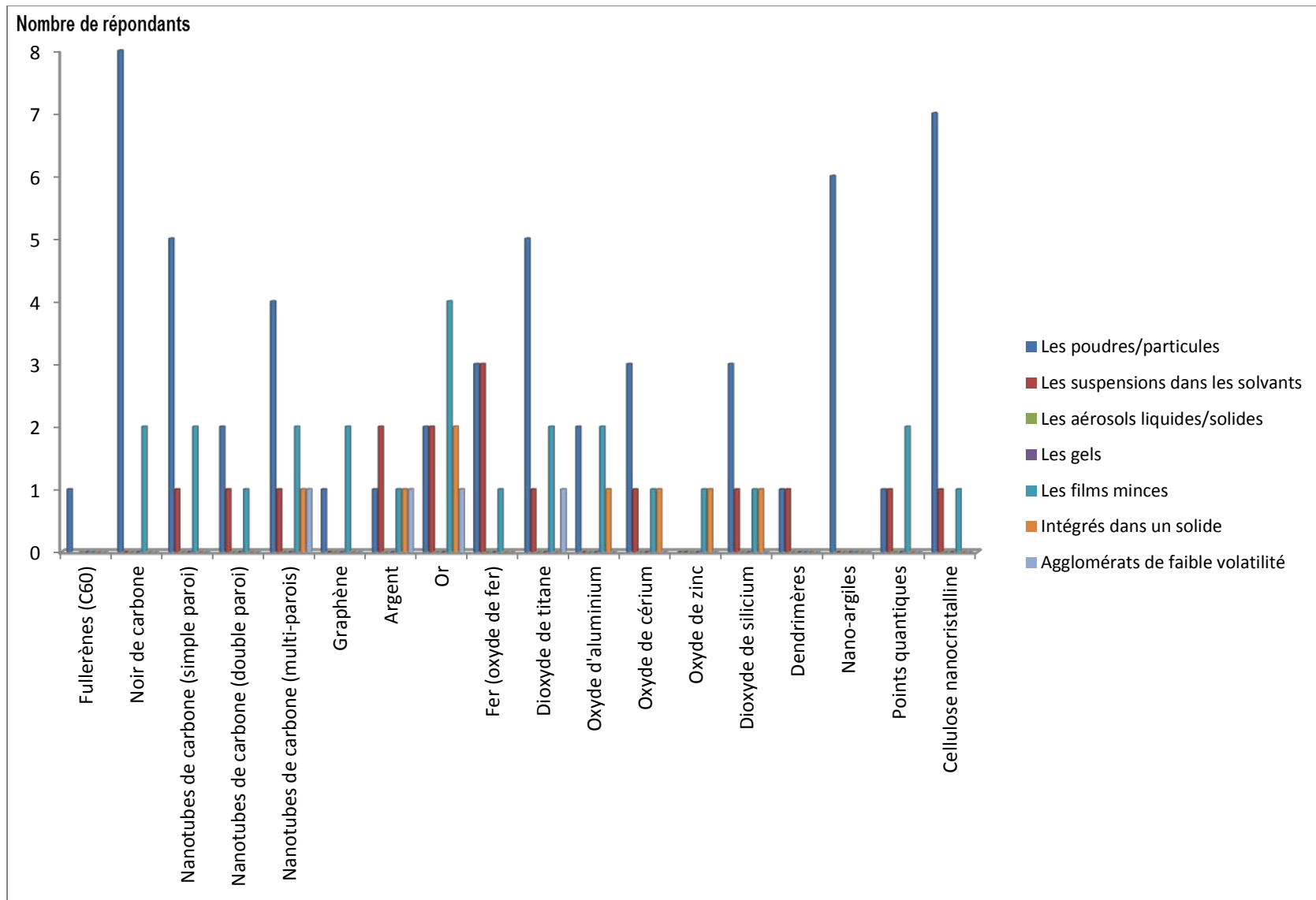


Figure 8 : Types de NP manipulées et produites dans le milieu industriel ainsi que les formes matérielles utilisées.



**Figure 9 : Types de NP manipulées et produites dans le secteur de la recherche universitaire et publique ainsi que les formes matérielles utilisées.**

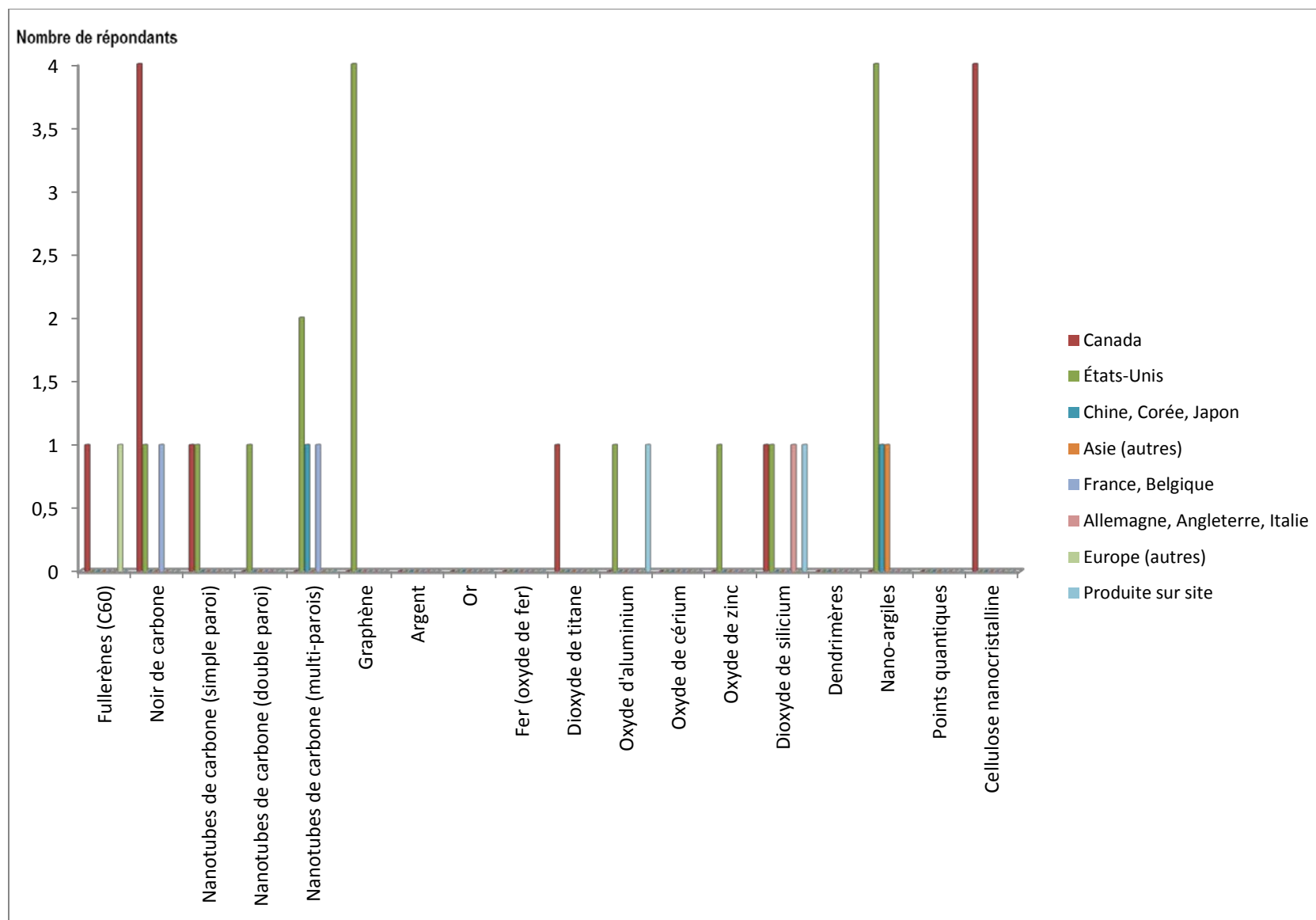
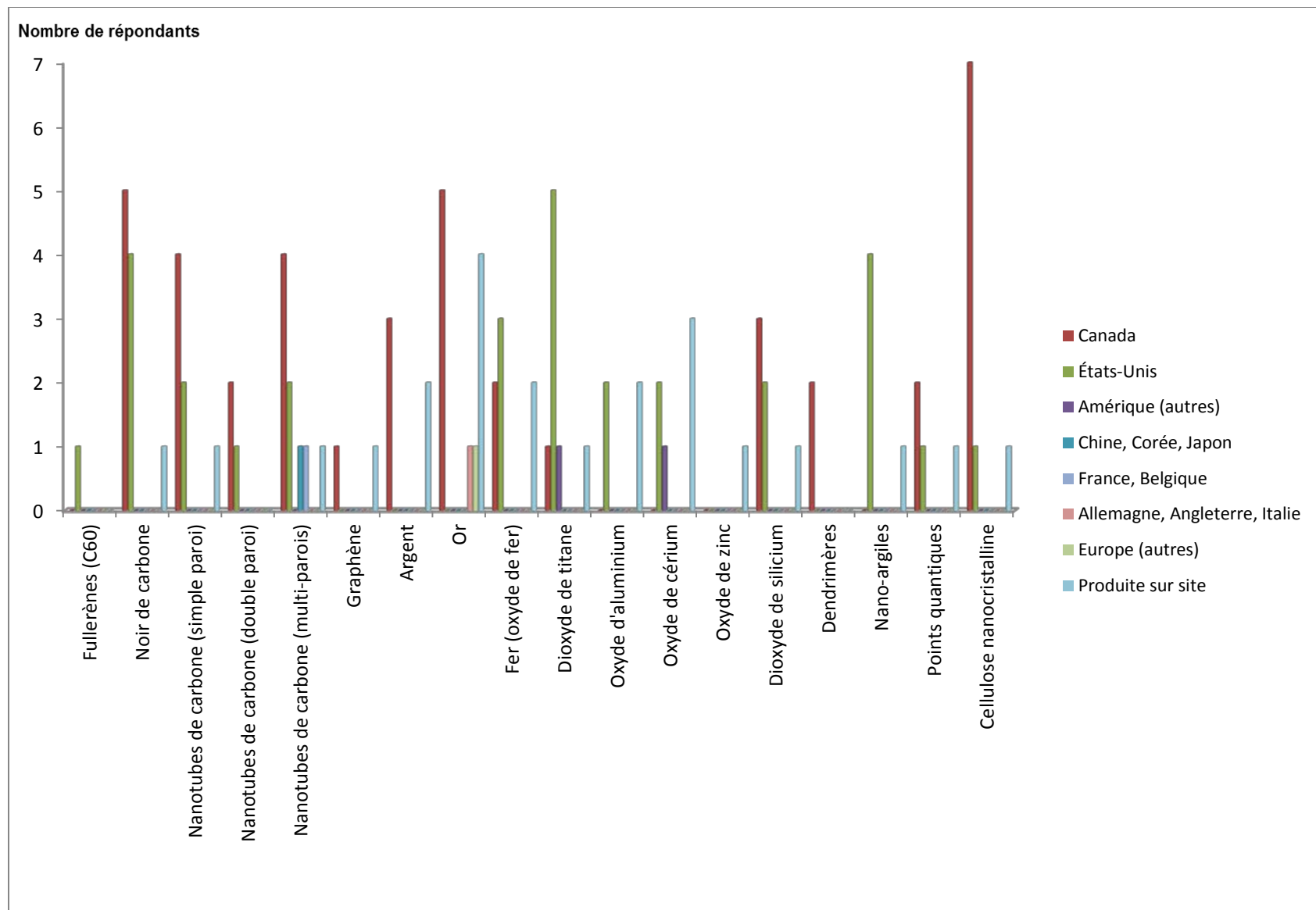


Figure 10 : Provenance des NP manipulées et produites dans le milieu industriel.



**Figure 11 : Provenance des NP manipulées et produites dans le secteur de la recherche universitaire et publique.**





### **4.3.8.3. Quantités annuelles de NP utilisées et produites**

#### **4.3.8.3.1. Participants du milieu industriel**

La majorité des industries utilisent moins de 100 kg de NP annuellement (Figure 12). Par contre, certains répondants ont indiqué les types et formes de NP utilisés, leur provenance, mais ils n'ont pas précisé la quantité annuelle approximative manipulée ou produite. Les NP utilisées à des volumes annuels supérieurs à un kilogramme sont le noir de carbone, les nanotubes de carbone simple paroi, les nanotubes de carbone multiparois, le graphène, les oxydes d'aluminium, de zinc et de silicium, les nano-argiles et la cellulose nanocristalline (Figure 12, Tableau 7). Des répondants rapportent l'utilisation ou la manipulation de plus de dix tonnes de noir de carbone et d'oxyde de zinc nanométriques par année alors qu'un répondant mentionne la manipulation de plus de dix tonnes de nanocellulose annuellement.

#### **4.3.8.3.2. Participants du secteur de la recherche universitaire et publique**

Contrairement aux participants du milieu industriel, ceux du secteur de la recherche universitaire et publique utilisent de faibles quantités de NP (Figure 13, Tableau 8). La plupart des répondants manipulent différentes NP dans des quantités inférieures à un kilogramme. Les NP d'or, le noir de carbone, les nanotubes de carbone simple paroi, les NP d'argent et les nanotubes de carbone multiparois sont les plus fréquemment utilisées, et ce, en quantité inférieure à un kilogramme. Les NP qui ne sont pas utilisées dans des quantités supérieures à un gramme sont les fullerènes, les nanotubes de carbone double paroi et l'oxyde de zinc. Aucun répondant du secteur n'a déclaré utiliser des quantités de NP supérieures à 100 kg. Tout comme dans le milieu industriel, certains répondants ont indiqué les types et formes de NP utilisés, leur provenance, mais pas la quantité annuelle approximative manipulée et produite.

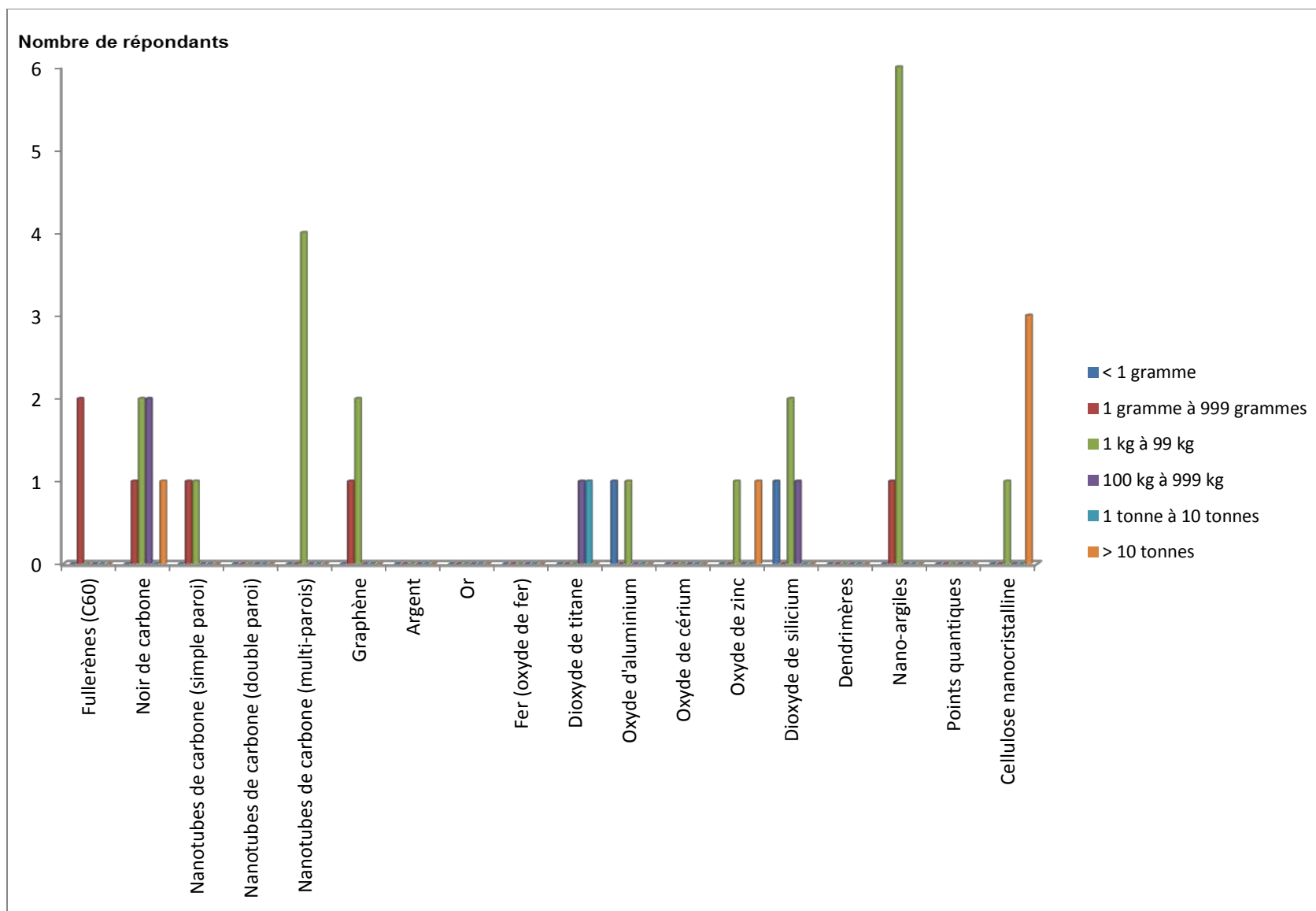


Figure 12 : Quantités annuelles approximatives de NP manipulées et produites dans le secteur industriel.

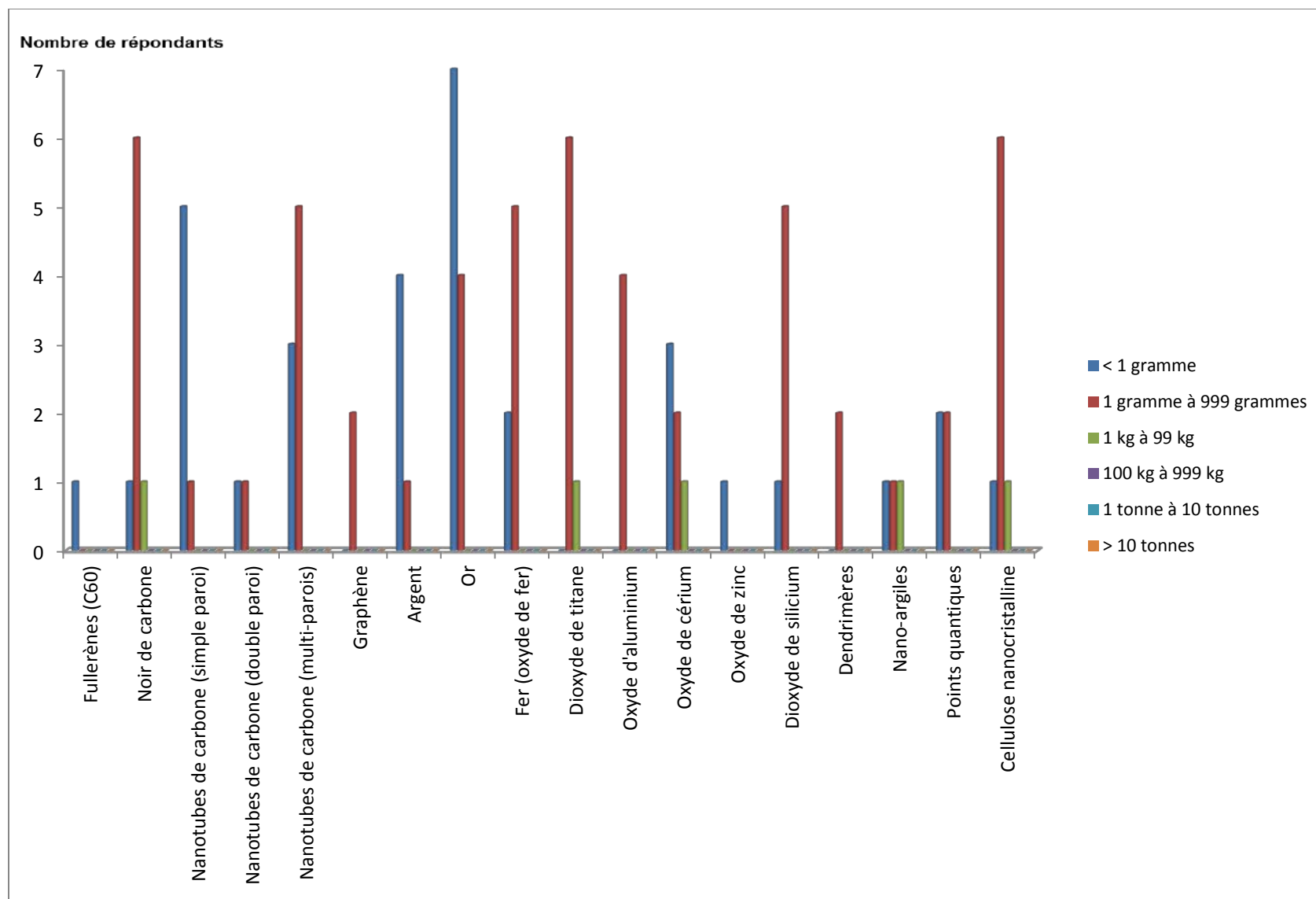


Figure 13 : Quantités annuelles de NP manipulées et produites dans le secteur de la recherche universitaire et publique.

**Tableau 7 : NP les plus souvent utilisées ou produites en poudre et en particules ainsi que les quantités annuelles approximatives manipulées et produites par le secteur industriel.**

Types de NP	Nombre de répondants qui l'ont rapporté	Quantités annuelles manipulées/produites (# répondants)
Cellulose nanocristalline	4	1 kg à 99 kg (1) > 10 tonnes (3)
Nano-argiles	4	1 kg à 99 kg (4)
Nanotube de carbone multiparois	3	1 kg à 99 kg (3)
Graphène	3	1 à 999 grammes (1) 1 kg à 99 kg (2)
Noir de carbone	3	1 kg à 99 kg (1) Quantité non indiquée (1) > 10 tonnes (1)
Dioxyde de titane	1	1 à 10 tonnes
Oxyde de zinc	1	> 10 tonnes (1)

**Tableau 8 : NP les plus souvent utilisées ou produites en poudre et en particules ainsi que les quantités annuelles approximatives manipulées et produites par le secteur de la recherche universitaire et publique.**

Types de NP	Nombre de répondants qui l'ont rapporté	Quantités annuelles manipulées/produites (# répondant)
Noir de carbone	8	< 1 gramme (1) 1 à 999 grammes (5) 1 kg à 99 kg (1) Quantité non indiquée (1)
Cellulose nanocristalline	7	< 1 gramme (1) 1 à 999 grammes (4) 1 kg à 99 kg (1) Quantité non indiquée (1)
Nano-argiles	6	< 1 gramme (1) 1 à 999 grammes (1) 1 kg à 99 kg (3) Quantité non indiquée (1)
Dioxyde de titane	5	1 à 999 grammes (4) 1 kg à 99 kg (1)
Nanotubes de carbone multi-parois	4	< 1 gramme (2) 1 à 999 grammes (1) 1 kg à 99 kg (1)

### 4.3.9. Commercialisation des produits et des procédés

Il est important d'évaluer si les activités des participants ont donné lieu à la fabrication de produits ou à l'élaboration de procédés qui ont déjà été introduites ou qui seront introduites sur le marché à court, moyen ou long terme. Presque tous les répondants (98 %) ont répondu à cette question (Figures 14 et 15).

Environ 50 % des répondants du milieu industriel ont répondu que la commercialisation des produits et des procédés ne s'appliquait pas à leur secteur d'activité. Sept de ceux qui ont indiqué ce choix de réponse sont des participants ayant déclaré à un moment dans leur questionnaire que leur entreprise n'utilise aucune NP (consultant, importateur/exportateur, distributeur, etc.). La moitié des répondants du secteur industriel dont les produits étaient commercialisés ont déjà introduit des produits ou des procédés. Les autres s'apprêtaient à le faire dans un délai variant entre moins d'un an et plus de cinq ans. En ce qui concerne les participants du secteur de la recherche universitaire et publique, plus de la moitié ont indiqué que la commercialisation ne s'appliquait pas à leur secteur d'activité.

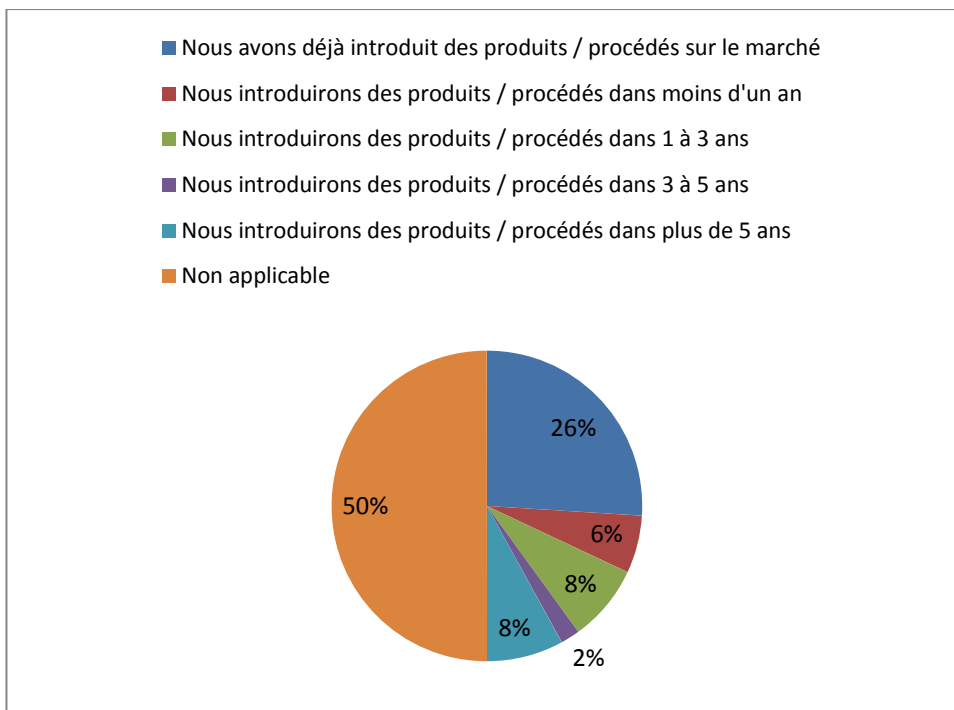
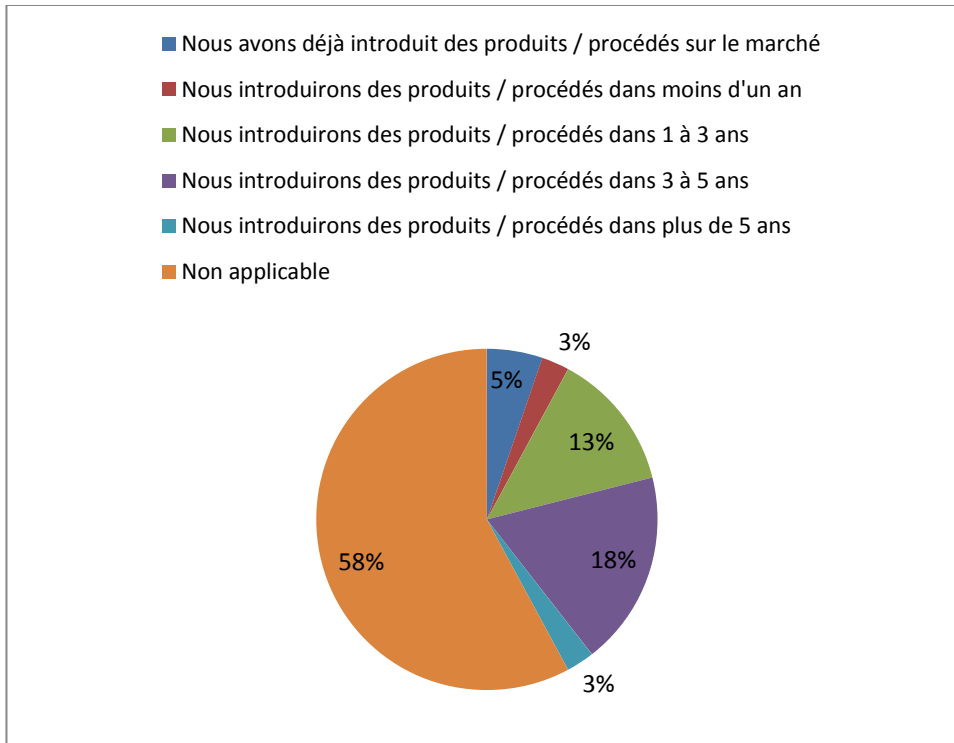


Figure 14 : Commercialisation des produits et procédés, participants du milieu industriel.



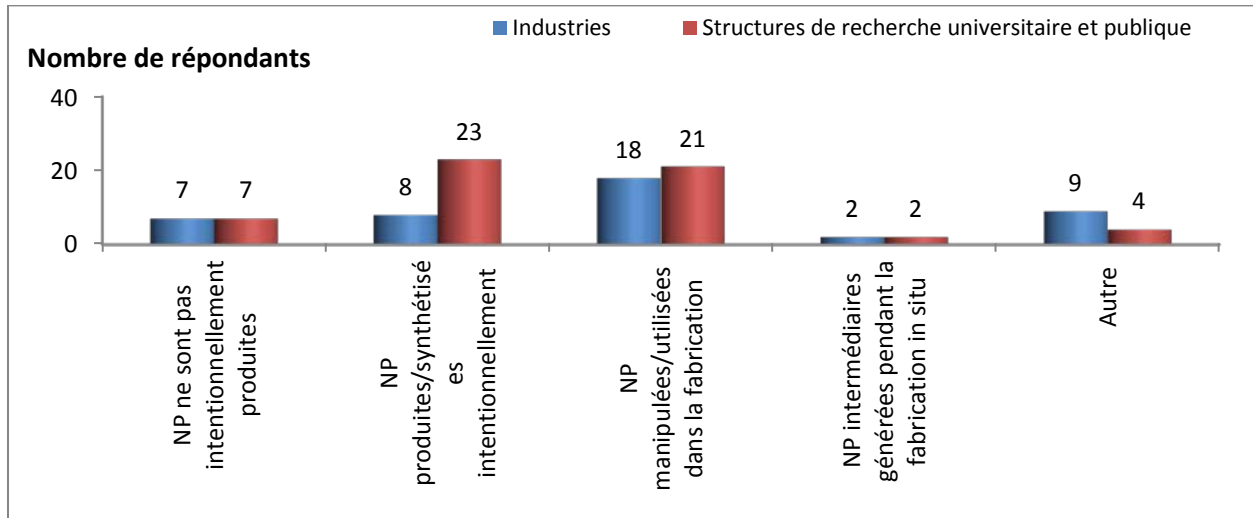
**Figure 15 : Commercialisation des produits et procédés, participants du secteur de la recherche universitaire et publique.**

#### **4.3.10. Les nanoparticules en milieu de travail**

La présence ou non des NP dans le milieu de travail des répondants ainsi que les manières dont elles sont générées ont été abordées. Quarante-sept pour cent des participants ont répondu à cette question. Les données compilées sont insérées dans la Figure 16. Certains participants, autant du secteur industriel ( $n=7$ ) que de la recherche universitaire et publique ( $n=7$ ), ont indiqué que les NP présentes dans leur milieu de travail n'étaient pas intentionnellement produites. La majorité de ces répondants (9/14) sont impliqués en recherche puisque deux des répondants du milieu industriel font de la recherche/développement.

En accord avec l'information précédente, la majorité des participants du secteur de la recherche universitaire et publique ( $n=23$ ) qui utilisent des NP ont déclaré que celles-ci étaient intentionnellement produites sur leurs sites. Contrairement au secteur de la recherche universitaire et publique, un faible nombre des participants du secteur industriel ( $n=8$ ) synthétise eux-mêmes les NP sur leurs sites. Les résultats indiquent également qu'une majorité des participants utilisent les NP lors du processus de fabrication alors qu'une petite portion d'entre eux ont précisé être exposés aux NP qui sont des particules intermédiaires générées pendant le processus de fabrication *in situ*. Quelques participants, neuf du milieu industriel et quatre du secteur de la recherche universitaire et publique, ont choisi la catégorie « Autre » comme réponse (Tableau 9). La majorité de ceux qui ont répondu « Autre » manipulait soit des NP produites par d'autres entreprises ou des NP incorporées dans un substrat. Six répondants ont indiqué comme

réponse qu'ils n'utilisaient pas de NP (n=5) ou qu'ils ne savaient pas ce qui était contenu dans leurs matières premières (n=1).



**Figure 16 : Manières dont les NP présentes dans les milieux de travail des participants sont générées en fonction de leur domaine (industries/structures de la recherche universitaire et publique).**

**Tableau 9 : Manières dont les NP présentes dans les milieux de travail sont générées pour la catégorie « Autre ».**

Nanoparticules dans le milieu de travail: catégorie-Autre	Industries	Structures de la recherche universitaire et publique
Distributeur/importateur les nanoparticules sont produites à l'extérieur	1	0
Utilisation de nanoparticules commerciales	0	1
Exposition d'organismes aquatiques aux nanoparticules pour des fins de recherche	0	1
Aucune idée	3	0
Incorporées dans un substrat	1	0
Les nanoparticules (achetées) sont manipulées pour étudier leur interaction avec les matériaux d'équipements de protection	0	1
Les films de NCC sont fabriqués dans une autre industrie	0	1
Mélange maître de colorant noir	1	0
Aucune NP pour l'instant sur notre site / Nous n'utilisons aucune NP / Non / Aucun	3	0

### **4.3.11. Relargage potentiel des nanoparticules**

Une question portait sur les opérations effectuées dans les milieux industriels et de la recherche universitaire et publique qui sont susceptibles de générer des aérosols contenant des NP. Le sixième des participants n'a pas répondu à cette question (17 %). Les résultats ont été compilés séparément pour les participants du milieu industriel (Figure 17) et pour ceux du secteur de la recherche universitaire et publique (Figure 18). Pour faire apparaître uniquement les réponses pertinentes, les réponses « non applicables » ont été exclues des résultats.

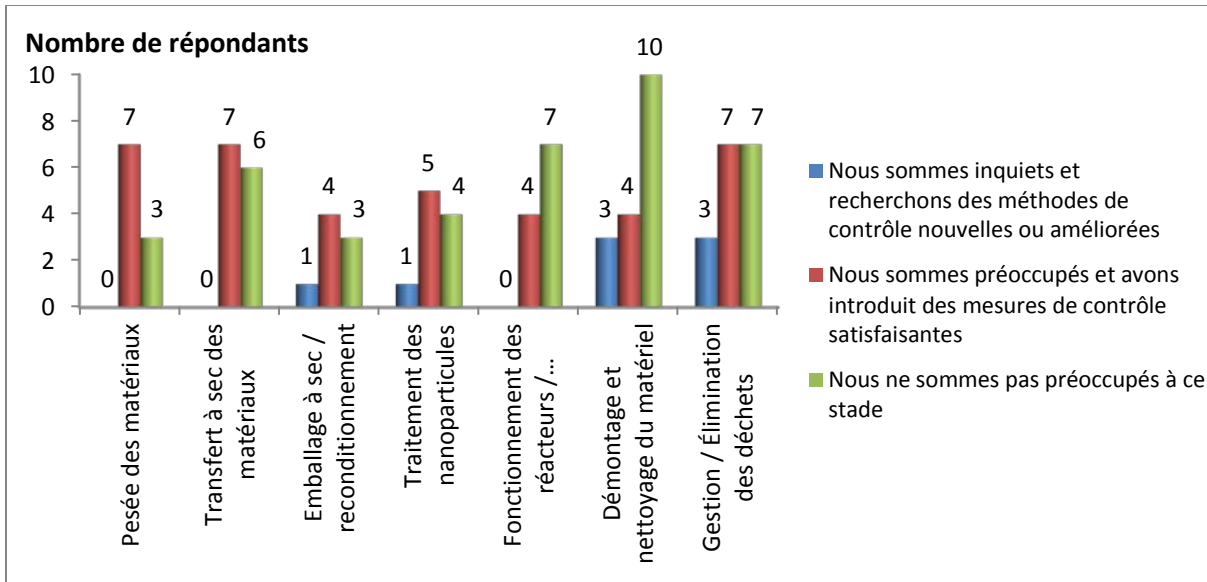
#### **4.3.11.1. Participants du milieu industriel**

De façon générale, les participants de l'industrie semblent relativement peu inquiets et ne recherchent pas de méthodes de contrôle spécifiques en ce qui concerne le relargage potentiel de NP lors de leurs diverses opérations de fonctionnement sauf en ce qui a trait aux opérations de « démontage et nettoyage du matériel » et à celles de « gestion et élimination des déchets », qui demeurent des inquiétudes pour certains répondants. Pour la plupart des opérations qui peuvent générer des NP, les industriels rapportent être préoccupés et avoir introduit des mesures de contrôle satisfaisantes ou se disent pas du tout inquiets.

Plusieurs répondants ont indiqué que le relargage potentiel de NP lors des différentes opérations proposées ne s'applique pas à leur milieu de travail (entre 11 et 21 participants selon les différents procédés de relargage potentiels proposés). Rappelons qu'une partie de ces répondants (n=7) rapportent n'utiliser aucune NP. Par contre, pour d'autres répondants, plusieurs des opérations proposées ne sont pas exécutées dans leurs milieux de travail. Ils ont donc indiqué que cette question était « non applicable ». L'applicabilité d'une opération varie donc d'une industrie à l'autre en fonction de ses activités. Par exemple, pour un « Fabricant de systèmes utilisant des NP et les NT », les opérations telles que la pesée de matériaux, le transfert à sec de matériaux, l'emballage à sec et le reconditionnement, le traitement des NP, le fonctionnement des réacteurs, le démontage et le nettoyage du matériel ne sont pas applicables. De la même façon, seules les opérations de « Démontage/nettoyage du matériel » et la « Gestion/élimination des déchets » sont applicables pour un des participants qui fabrique des matériaux incorporant des NP.

Quelques répondants ont indiqué que des opérations autres que les types proposés sont potentiellement source de poussière de NP. Leur degré d'inquiétude pour ce relargage potentiel de NP a également été précisé (Figure 17). Certains des participants qui n'utilisent pas de NP ont également choisi l'option « Autre » dans leur choix de réponse (Tableau 10).





**Figure 17 : Opérations ou manipulations dans l'environnement de travail susceptibles de générer de la poussière contenant des NP et degré d'inquiétude, participants du milieu industriel.**

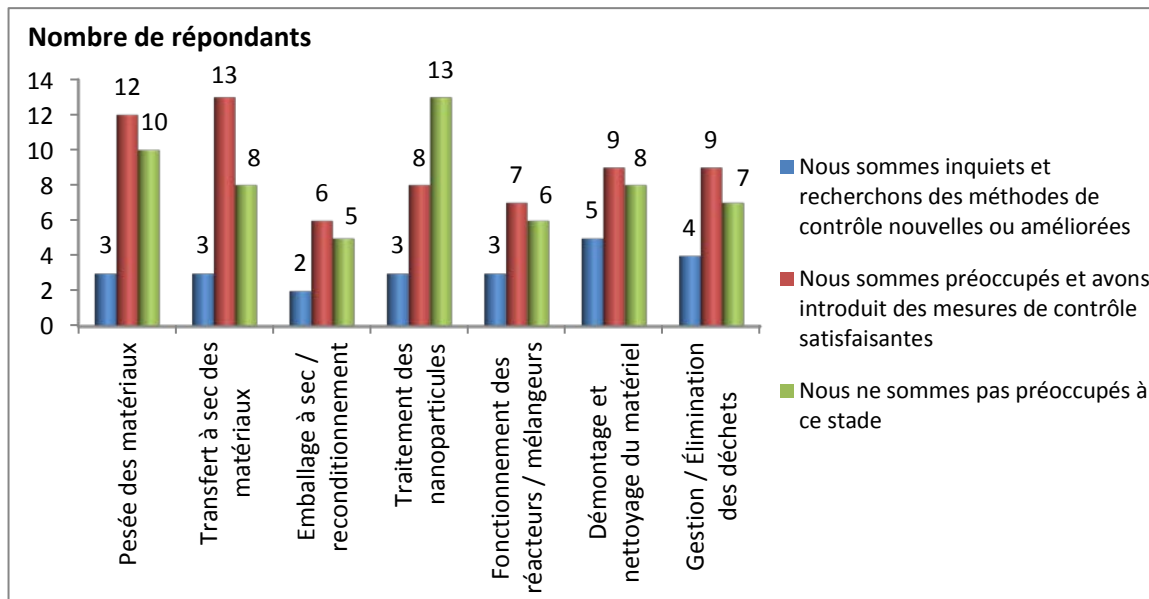
**Tableau 10 : Réponses des participants du milieu industriel qui ont choisi la catégorie « Autre » pour les opérations susceptibles de conduire au relargage des NP dans le milieu de travail et le degré d'inquiétude associé.**

Autres opérations susceptibles de générer des NP	Nombre de répondants	Degré d'inquiétude
Rectification à sec	1	Nous sommes préoccupés et avons introduit des mesures de contrôle satisfaisantes
Lors des mélanges des produits	1	Degré d'inquiétude non indiqué
Gestion des filtres à NP	1	Nous sommes préoccupés et avons introduit des mesures de contrôle satisfaisantes
NP utilisée est incorporée dans un mélange utilisé pour asperger les tissus	1	Degré d'inquiétude non indiqué
Entreposage	1	Nous sommes inquiets et recherchons des méthodes de contrôle nouvelles ou améliorées
Transport	1	Nous sommes inquiets et recherchons des méthodes de contrôle nouvelles ou améliorées

#### 4.3.11.2. Participants du domaine de la recherche universitaire et publique

De façon générale, les participants du secteur de la recherche universitaire et publique sont plus inquiets que leurs collègues de l'industrie du relargage des NP lors des différentes opérations proposées (Figure 18). Les principales opérations qui sont source d'inquiétudes sont celles de « Démontage et de nettoyage du matériel » et de la « Gestion/élimination des déchets ». La pesée des matériaux ainsi que leur transfert à sec font partie des opérations qui préoccupent le plus les répondants de ce secteur. Par contre, ils admettent que des mesures de contrôle ont été implantées et qu'elles sont jugées satisfaisantes pour la majorité d'entre eux.

Tout comme les participants du milieu industriel, les opérations proposées ne sont pas applicables pour tous les participants du milieu de la recherche (entre 9 et 16 participants selon les différents procédés de relargage potentiels proposés). En effet, en fonction des activités de recherche et du type de NP qu'ils utilisent, les répondants indiquaient que certaines des opérations proposées ne sont pas pratiquées. Par exemple, un chercheur qui est exposé à des NP en suspension dans les solvants a indiqué comme seule opération susceptible de relargage le « traitement des NP » alors qu'un autre, qui utilise les films minces, a mentionné deux autres opérations : celles de la « pesée des matériaux » et du « transfert à sec des matériaux ». Quelques répondants ont indiqué que d'autres opérations que celles proposées pourraient conduire au relargage des NP. Celui-ci pourrait subvenir, par exemple, lors de la fabrication des électrodes et de l'utilisation de poudres sèches micrométriques.



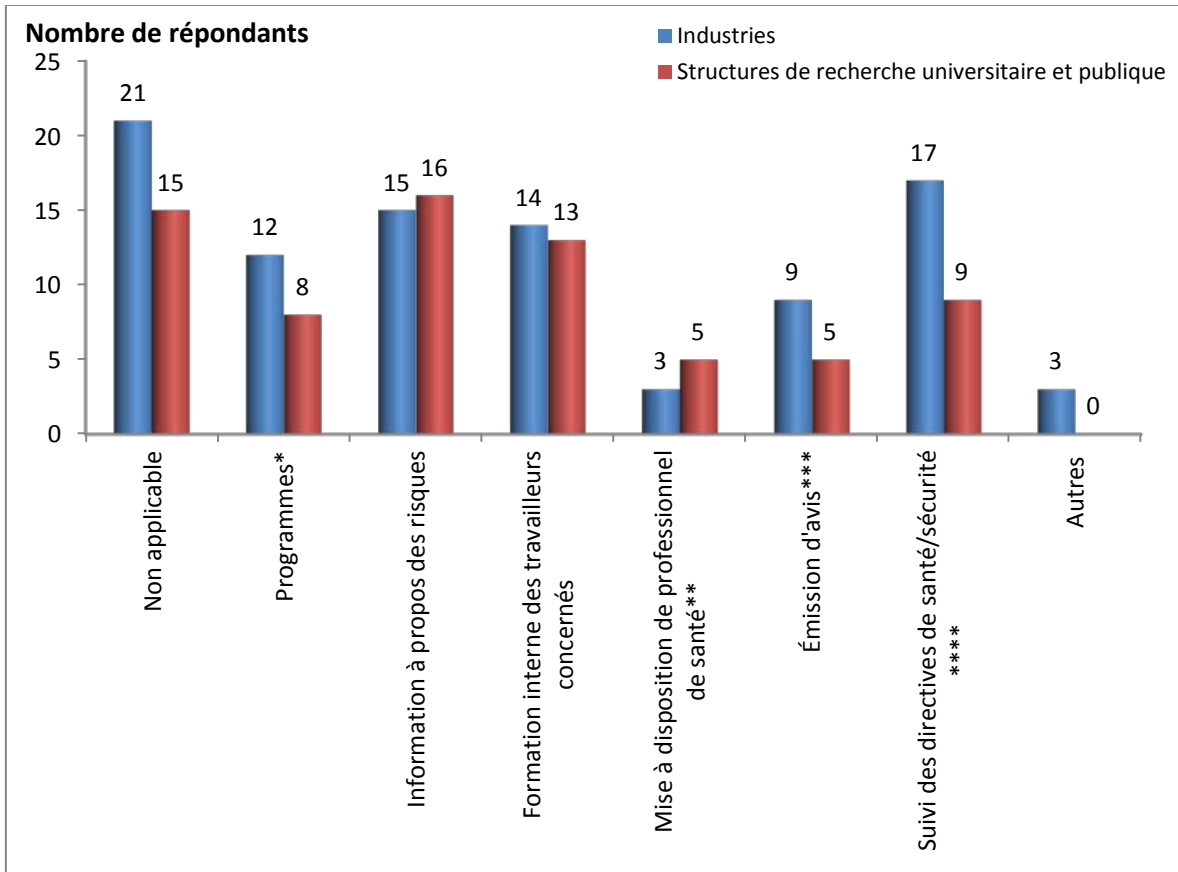
**Figure 18 : Opérations ou manipulations dans l'environnement de travail susceptibles de générer des poussières contenant des NP et degré d'inquiétude, participants du secteur de la recherche universitaire et publique.**

### **4.3.12. Pratiques en matière de santé et de sécurité du travail**

Cette question explore les mesures de manipulation sécuritaire des NP que les participants conçoivent ou ont déjà implantées. La majorité (93 %) des participants ont répondu à cette question (Figure 19).

Les mesures de manipulation sécuritaire des NP (utilisées ou en développement) dans le milieu industriel sont par ordre décroissant : le suivi des directives de santé et de sécurité (17/45), l'information à propos des risques (15/45), la formation interne des travailleurs (14/45), les programmes de prévention et d'information sur les bonnes pratiques pour limiter les risques chez les travailleurs (12/45), l'émission d'avis sur les procédures d'urgence (9/45), la possibilité de recourir à un professionnel de la santé (3/45) et autres mesures (3/45). Pour la catégorie des « autres » mesures de protection, un participant a évoqué les équipements de protection individuelle. Les industries qui ont mis des professionnels de la santé à la disposition de leurs employés sont toutes des productrices de NP synthétiques ou naturelles. Deux des trois industries concernées ont d'autres activités : distribution de NP et importation-exportation des NP pour l'une et laboratoire de recherche à l'échelle nanométrique pour l'autre. Un nombre important de participants (22/45) a indiqué que les mesures de manipulation sécuritaire des NP ne s'appliquaient pas à leur milieu de travail. Une partie des participants qui ont formulé cette réponse ont indiqué n'utiliser aucune NP. Cependant, même certaines industries qui en produisent ou qui en utilisent ont répondu que ces mesures ne s'appliquaient pas à elles. Il en est de même pour une entreprise qui distribue des NP fabriquées ailleurs qu'au Québec.

En ce qui concerne les participants du secteur de la recherche universitaire et publique, les mesures de manipulation sécuritaire des NP (utilisées ou en développement) sont par ordre décroissant : l'information à propos des risques (16/38), la formation interne des travailleurs (13/38), le suivi des directives de santé et de sécurité (9/38), les programmes de prévention et d'information sur les bonnes pratiques pour limiter les risques chez les travailleurs (8/38), la possibilité de recourir à un professionnel de la santé (5/38) et l'émission d'avis sur les procédures d'urgence (5/38). La possibilité de recourir à des professionnels de la santé semble être une mesure plus appliquée dans les structures de la recherche universitaire et publique. Trois de ces structures, qui ont mis en place cette mesure, sont (en plus d'être un laboratoire de recherche à l'échelle nanométrique) des producteurs de NP (n=1) et des intégrateurs/utilisateurs de NP (n=2). Un certain nombre de répondants (15/38) ont indiqué que les mesures de manipulation sécuritaire ne s'appliquaient pas à leur laboratoire. Quatre d'entre eux ont indiqué ne pas produire ou utiliser de NP. Les participants des 11 structures de la recherche universitaire et publique restantes ont répondu que les mesures ne s'appliquaient pas à leur secteur malgré le fait qu'ils soient des utilisateurs ou des producteurs de NP.



\*Programmes de prévention/Information sur les bonnes pratiques pour limiter les risques chez les travailleurs concernés

\*\*Professionnel de la santé : consultant en hygiène, toxicologue ou médecin du travail

\*\*\*Avis contenant les procédures d'urgence à suivre en cas d'accidents, de déversements, etc.

\*\*\*\*Directives émises par le fournisseur ou les ressources externes

**Figure 19 : Pratiques en matière de SST dans les milieux de travail des participants en fonction de leur appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique).**

### 4.3.13. Sécurité et protection

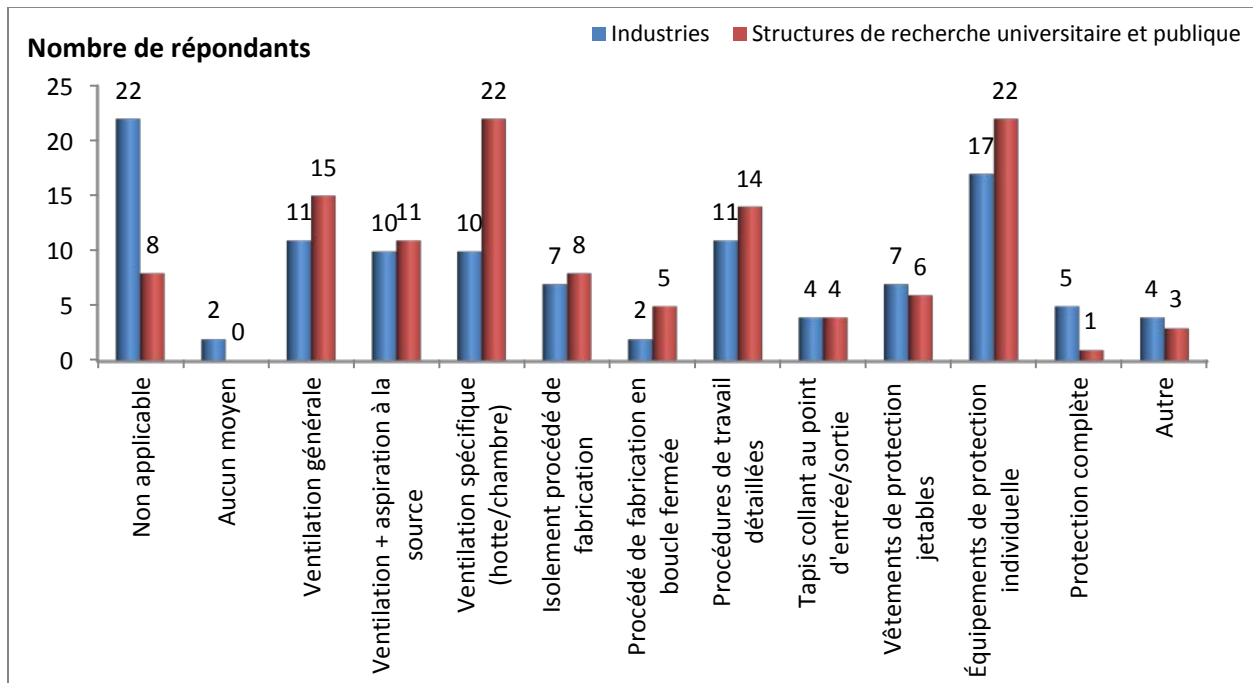
L'éventail des mesures de protection mises en place par les participants lors de la manipulation des NP ou de leurs agrégats est examiné ici. La majorité des participants (94 %) ont répondu à cette question. Les résultats compilés selon le secteur auquel appartiennent les participants sont présentés à la Figure 20.

Les mesures de protection les plus utilisées par ordre décroissant d'importance dans le milieu industriel sont : les équipements de protection individuelle (17/47), la ventilation générale (11/47), les procédures de travail détaillées (11/47), la ventilation avec aspiration à la source (10/47), la ventilation spécifique (10/47), l'isolement du procédé de fabrication (7/47), les vêtements de protection jetables (7/47), la protection complète (5/47), les tapis collants au point d'entrée et de sortie (4/47) et les procédés de fabrication en boucle fermée (2/47). Deux

participants ont indiqué qu'ils n'utilisaient aucun moyen de protection (le premier parce qu'il n'utilisait pas de NP alors que le second en faisait usage).

Plusieurs répondants, dont certains sont des utilisateurs ou des producteurs de NP, ont mentionné que les mesures de protection lors de la manipulation des NP ne leur étaient pas applicables. Certains d'entre eux ont indiqué avoir mis en place plusieurs des mesures proposées. Quatre participants ont choisi « Autre » comme réponse à cette question. Deux d'entre eux n'utilisent aucune NP alors que les deux autres ont indiqué les mesures de protection suivantes : la manipulation est faite dans une boîte à gants et les emballages sont pré-scellés chez les fournisseurs.

Les mesures de protection semblent plus répandues dans les structures de la recherche universitaire et publique qu'en milieu industriel. En effet, moins de participants, soit huit contre 22 dans les industries, ont indiqué qu'aucune de ces mesures n'était applicable à leur secteur. Des huit répondants, trois n'étaient pas exposés aux NP, un participant travaillait avec des films minces, mais qui sont produits par une autre firme et quatre manipulaient des NP dont un laboratoire qui produisait ses propres matériaux. De plus, pas une seule structure de la recherche universitaire et publique n'a indiqué qu'aucun moyen n'était utilisé pour garantir une manipulation sécuritaire des NP. En ordre décroissant, les mesures de sécurité et de protection implantées dans ce secteur sont les suivantes : la ventilation spécifique (22/38), les équipements de protection individuelle (22/38), la ventilation générale (15/38), les procédures de travail détaillées (14/38), la ventilation avec aspiration à la source (11/38), l'isolement du procédé de fabrication (8/38), les vêtements de protection jetables (6/38), les procédés de fabrication en circuit fermé (5/38), les tapis collants au point d'entrée et de sortie (4/38) et la protection complète (1/38). À part les vêtements de protection jetables et la protection complète, toutes les autres mesures de protection sont plus fréquemment utilisées dans les structures de la recherche universitaire et publique que dans le milieu industriel. Deux laboratoires manipulaient leurs NP en suspension colloïdale dans des solvants.



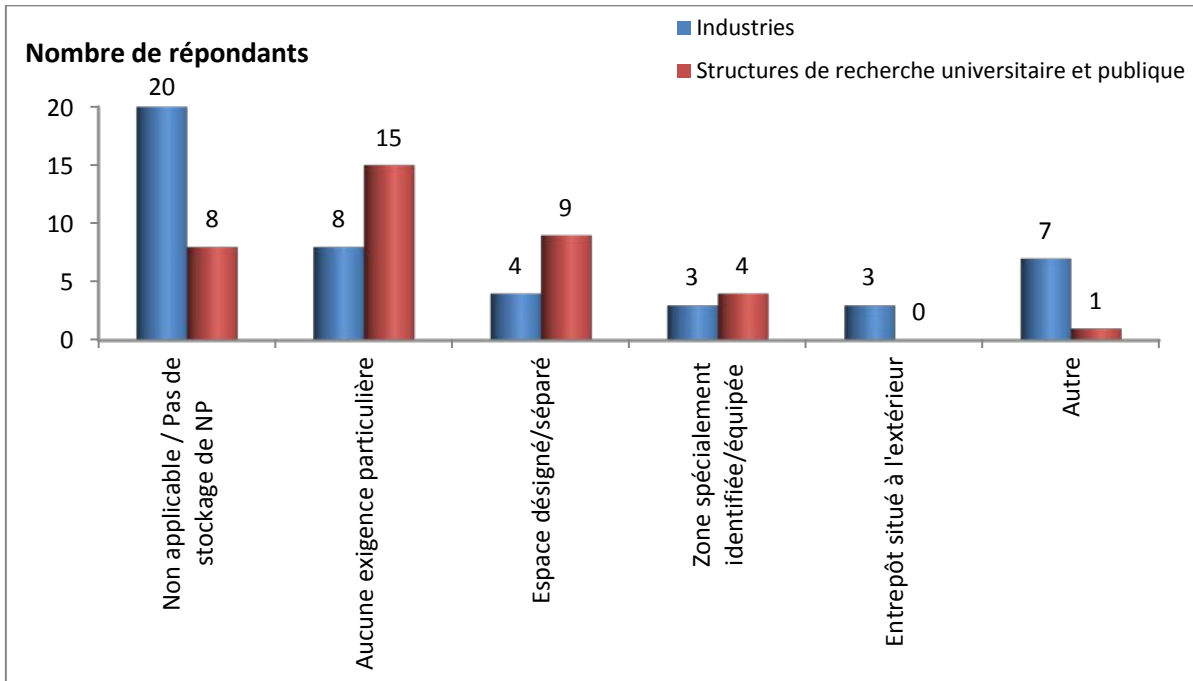
**Figure 20 : Mesures de protection utilisées par les participants lors de la manipulation des NP ou de leurs agrégats selon leur secteur d'appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique).**

#### 4.3.14. *Entreposage*

L'étude a aussi permis de déterminer comment les NP produites et utilisées étaient conservées ou entreposées. Quarante-six des 90 répondants ont répondu à cette question (Figure 21). Dans le milieu industriel, 20 répondants sur 45 ont choisi l'option « Non applicable/Pas de stockage de NP ». Une partie d'entre eux (n=7) n'utilise pas de NP, mais sept d'entre eux ont rapporté utiliser ou produire des NP (importateur/exportateur de NP, intégrateur/utilisateur de NP, producteur de NP). Une partie des autres participants du milieu industriel (8/25) a déclaré ne mettre en œuvre aucune procédure particulière pour l'entreposage des NP. Quelques industries utilisent un espace désigné séparé (5/25), une zone spécialement identifiée (3/25) ou un entrepôt situé à l'extérieur (4/25). Les moyens d'entreposage utilisés par ceux qui ont choisi la catégorie « Autre » sont : une incorporation dans le colorant noir et un emballage sous aspiration avec scellage dans des sacs en poly-aluminium.

Dans le secteur de la recherche universitaire et publique, peu de participants entreposent des NP. Ce résultat est conforme au fait que la plupart des laboratoires fabriquent leurs propres NP, et ce, en très faibles quantités. Contrairement aux participants du milieu industriel, la plupart ont précisé qu'ils entreposaient les NP comme c'est le cas pour les produits chimiques réguliers. Un plus grand nombre de participants du secteur de la recherche universitaire et publique entreposent les NP dans un espace désigné ou séparé (9/37 contre 4/25 pour les industries) ou dans une zone spécialement identifiée ou équipée (4/37 contre 3/25 pour les industries). Aucun des participants du secteur de la recherche universitaire et publique n'utilise des entrepôts situés

à l'extérieur, ce qui pourrait être lié au fait que les chercheurs utilisent de plus faibles quantités de matériaux comparativement aux participants du secteur industriel.



**Figure 21 : Moyens de conservation et d'entreposage des NP selon l'appartenance des participants.**

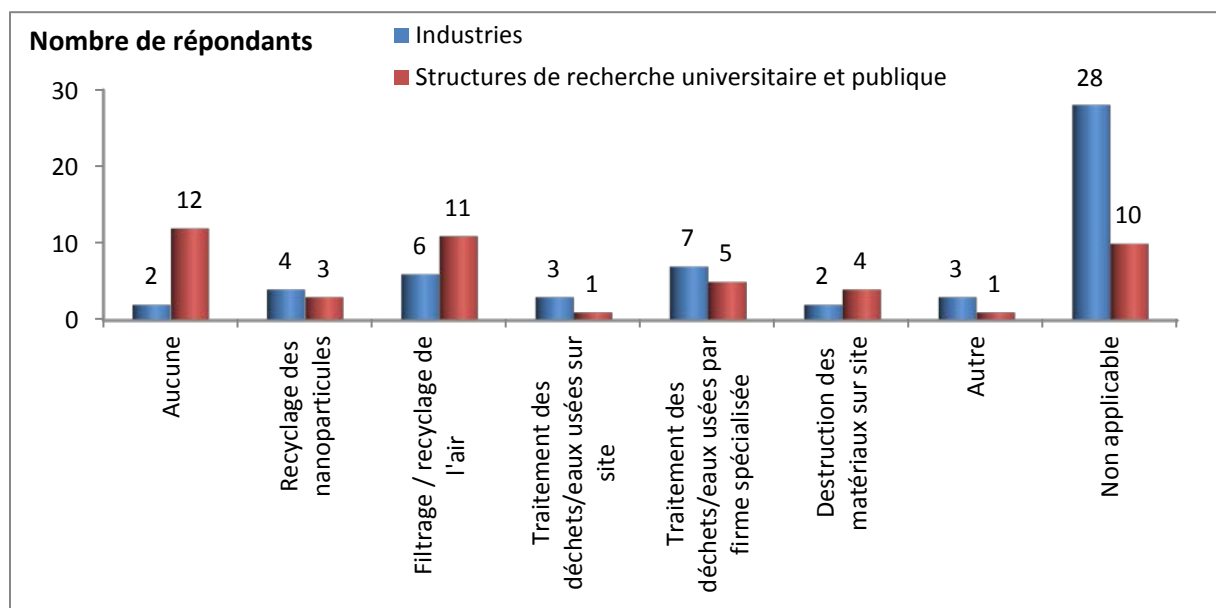
#### 4.3.15. Traitement des déchets

Cette question a permis de déterminer les mesures spécifiques mises en place par les participants de tous les domaines pour contrôler la libération de NP et/ou d'agrégats de NP dans l'environnement extérieur du milieu de travail. La majorité (93% soit 84/90) des participants (qu'ils utilisent ou non les NP) ont répondu à cette question. Les résultats compilés en fonction du domaine sont insérés dans la Figure 22. Chaque donnée se rapportant aux mesures de confinement environnemental choisies par les participants a été compilée pour chacun des secteurs d'activité et est rapportée ici en fréquence relative.

En général, les mesures spécifiques de gestion des déchets sont très peu pratiquées par les participants du milieu industriel. Les plus utilisées sont le traitement des déchets et des eaux usées par une firme spécialisée (7/46), le filtrage et le recyclage de l'air (6/46) et le recyclage des NP (4/46). Vingt-huit participants sur 46, dont une partie produit ou utilise des NP, ont indiqué que de telles mesures ne s'appliquaient pas à leur secteur. Un répondant a précisé que son établissement disposait d'une décharge autorisée sur son site.

Les répondants du secteur de la recherche universitaire et publique ont recours un peu plus souvent que leurs confrères de l'industrie à des mesures spécifiques de gestion des déchets. Les plus utilisées sont : le filtrage et le recyclage de l'air (11/38), le traitement des déchets et des eaux usées par une firme spécialisée (5/38) et la destruction des matériaux sur site (4/38). Une

forte proportion de chercheurs (12/38) n'utilise tout de même aucune mesure de confinement environnemental des NP, un participant indiquant que les quantités de NP utilisées dans son laboratoire étaient trop faibles pour soulever des préoccupations.



**Figure 22 : Moyens de confinement utilisés par les participants en fonction de leur secteur d'appartenance (industries/structures de la recherche universitaire et publique).**

#### **4.3.16. Améliorations en matière de santé et sécurité du travail**

Cette section permet de déterminer si les milieux de travail souhaitent obtenir plus d'informations sur certains aspects de SST. Quarante-vingt-quatorze pour cent des répondants (85/90) ont répondu à cette question (Figure 23).

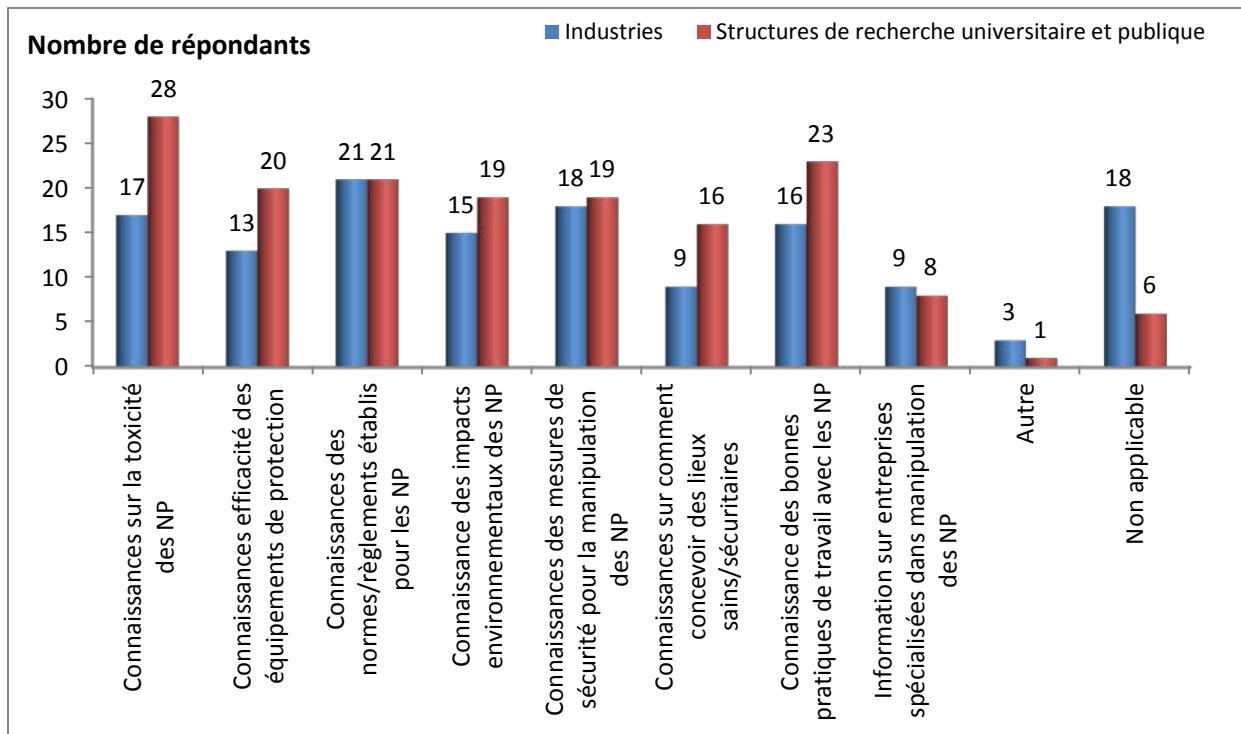
Quoique la majorité des établissements du milieu industriel ait mentionné dans une section précédente de l'enquête avoir implanté les mesures qu'ils jugeaient nécessaires pour protéger adéquatement leurs travailleurs, 44 % (21/47) des participants souhaitent obtenir plus d'informations relatives aux normes et règlements spécifiquement établis pour les NP<sup>4</sup>. Ils déclarent également vouloir plus d'informations sur les aspects suivants : les mesures sécuritaires pour la manipulation des NP (18/47), les connaissances sur la toxicité des NP (17/47), les connaissances sur les bonnes pratiques de travail avec les NP (16/47), les connaissances des impacts environnementaux des NP (15/47), l'efficacité des équipements de protection individuelle (13/47), les connaissances sur la conception de milieux de travail sécuritaires (9/47) et l'information sur les entreprises spécialisées dans la gestion des déchets contenant des NP (9/47). Un peu plus du tiers (18/47) des participants du milieu industriel ont indiqué que les

<sup>4</sup> Pour obtenir à ce sujet de l'information adaptée au contexte québécois, le lecteur est invité à parcourir les documents produits par l'IRSST ([www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)), plus spécifiquement par C. Ostiguy et coll. 2008, 2010 et 2014 dont les références complètes se trouvent dans la bibliographie.



améliorations en matière de SST ne s’appliquaient pas à leur secteur. Parmi eux, on retrouve non seulement des industries qui n’utilisent ou ne produisent pas de NP (7), mais également des producteurs, des utilisateurs et des transformateurs de produits contenant des NP.

Le personnel du secteur de la recherche universitaire et publique souhaiterait disposer de plus de connaissances sur la toxicité des NP (28/38), les bonnes pratiques de travail (23/38), les normes et règlements spécifiquement établis pour les NP (21/38), l’efficacité des équipements de protection individuelle (20/38), les connaissances des impacts environnementaux (19/38), les connaissances des mesures de sécurité pour la manipulation des NP (19/38), les connaissances sur la conception de milieux de travail sécuritaires (16/38) et l’information sur les entreprises spécialisées dans la gestion des déchets de NP (8/38). Contrairement aux participants du milieu industriel, un faible nombre de participants du domaine de la recherche universitaire et publique (6/38) a indiqué que les connaissances utiles pour améliorer la SST ne s’appliquaient pas à leur secteur d’activité. Parmi eux, on dénombre quelques laboratoires dans lesquels on ne retrouve pas de NP, mais d’autres aussi qui produisent ou manipulent les NP.



**Figure 23 : Informations et connaissances jugées utiles pour les améliorations en matière de santé et sécurité au travail.**



## 5. DISCUSSION

Les visées de cette étude étaient d'établir une cartographie des laboratoires de recherche, des industries et des travailleurs liés aux NT au Québec, d'identifier les NP utilisées, de déterminer les moyens de prévention déjà en place et les besoins de développement de nouvelles connaissances scientifiques permettant de répondre aux besoins spécifiques des milieux de travail québécois.

La première étape du projet consistait à a) concevoir un questionnaire permettant de recueillir les informations minimales requises pour dresser un portrait des NT au Québec, en s'inspirant de ce qui a déjà été publié dans la littérature au sujet des NT, et b) valider ce questionnaire auprès d'un groupe restreint d'industriels (n=3) et de chercheurs (n=3). Parallèlement, une liste d'entreprises québécoises (n=1310) et de laboratoires de recherche dans les secteurs collégial, universitaire et public (n=691) susceptibles d'utiliser des NP a été élaborée en se basant, d'une part, sur les secteurs d'activité pour lesquels l'utilisation de NP avait déjà été documentée dans la littérature et, d'autre part, sur différentes bases de données accessibles à l'équipe de recherche. Cette façon de répertorier les milieux de travail manipulant potentiellement des NP ne permet pas d'identifier l'ensemble de ces établissements. En effet, la méthodologie ne couvre qu'une faible fraction des entreprises et laboratoires de recherche québécois. De plus, le nombre d'établissements retenus est très variable d'un secteur à l'autre et la représentativité des établissements sélectionnés ne peut être confirmée. Néanmoins, un biais positif de sélection est probable compte tenu de l'utilisation d'informations visant à favoriser la sélection d'établissements les plus susceptibles d'œuvrer dans le domaine des NT.

Avec un potentiel de 2001 répondants, des choix méthodologiques ont dû être faits en raison de l'échantillon beaucoup plus important que celui estimé au début de l'étude. Ainsi, cette étude a utilisé deux méthodologies différentes selon la clientèle cible. En milieu industriel, les établissements identifiés ont été contactés par téléphone pour leur expliquer le projet puisque leur personnel est généralement moins familier avec la démarche scientifique. Les répondants ont été invités à remplir un questionnaire en ligne lorsque ceux-ci confirmaient leur implication dans le domaine des NT. Les appels téléphoniques ont ainsi permis d'établir un premier contact auprès de 55 % des établissements ciblés des secteurs industriels. Pour l'autre 45 %, malgré de multiples tentatives, il a été impossible de parler directement aux gens des entreprises pour différentes raisons (personnes absentes, non-retour d'appel, etc.). Pour les chercheurs, de même que pour les entreprises qui n'ont pu être rejointes par téléphone, une lettre explicative leur a été envoyée par courriel afin de les inviter à répondre au questionnaire. Un premier constat intéressant se dégage de l'utilisation de cette double méthodologie. En effet, des établissements qui nous ont confirmé l'utilisation ou la production de NP, 29 % ont rempli le questionnaire. Ce chiffre se compare aux 19 % de l'étude internationale publiée par l'ICON en 2006 qui a utilisé une méthodologie d'échantillonnage similaire (questionnaire en ligne et appels téléphoniques), mais également d'autres approches et stratégies dont le questionnaire papier et l'utilisation d'organismes connus et crédibles auprès des entreprises pour accroître le nombre de personnes appelées à remplir un questionnaire. Par ailleurs, l'étude d'ICON souligne également l'importance de la familiarité et de la crédibilité des organisations demanderesse d'information pour obtenir un taux de participation plus élevé. Parmi l'ensemble des études répertoriées et portant sur les NT (Hock et coll. 2006, Gerritzen et coll. 2006a, Gerritzen et coll. 2006b, Linberg 2007, NanoQuébec 2007, StatCan 2007, AFSSET 2008, Conti et coll. 2008, Mehta 2009, Balas

et coll. 2010, CORDIS-FP7 2010, ISQ 2010, Kjellstrom et coll. 2010, Richmond et coll. 2010, Schmid et coll. 2010, Song 2010, CIA 2011, Roco 2011, CSA 2012), seule l'étude de Schmid et coll. (2010) rapportait un taux de réponse supérieur, soit 58,3 %. Il convient néanmoins de noter que la législation suisse oblige les établissements à répondre à ce genre d'enquête, ce qui n'est pas le cas au Québec.

Des 531 entreprises qui n'avaient pas été rejointes par téléphone, 34 ont rempli le questionnaire soit 6,4 %. Ceci se compare aux 39 chercheurs qui ont répondu au questionnaire sur les 616 ciblés, soit un taux de réponse de 6,3 %. Ces taux de réponse suggèrent que, d'une part, on obtient environ le même pourcentage de réponses (6,4 vs 6,3 %) des entreprises que des chercheurs si on achemine uniquement une invitation suivie de rappels par courriel. Il ne faut pas oublier que ce taux de réponse ne peut pas être directement comparé à celui obtenu chez les entreprises auprès desquelles un premier contact téléphonique avait été établi et qui atteignait 29 %, soit un score quatre fois plus élevé. En effet, ces dernières avaient confirmé l'utilisation de nanomatériaux, ce qui n'était pas le cas de multiples entreprises et chercheurs qui ne travaillaient pas dans le domaine, mais qui ont tout de même reçu l'invitation à répondre au questionnaire.

D'autres limites à la portée de cette étude doivent être considérées. Par exemple, l'analyse détaillée des réponses aux questionnaires fait ressortir quelques aberrations apparentes chez plusieurs répondants. Ainsi, certaines entreprises ont noté qu'aucun travailleur n'était associé au NT, mais des produits contenant des NP étaient mis en marché et distribués par ces mêmes entreprises. Cette situation représentait même, dans quelques cas, un pourcentage important de leurs activités. Du côté universitaire, quelques répondants ont mentionné que de 250 à 500 personnes œuvraient en NT au sein de leur organisation alors qu'aucun chercheur québécois ne dispose d'effectifs de recherche d'une telle importance. La méthodologie pourrait certainement être améliorée, notamment en sélectionnant, pour chaque secteur d'activité économique ciblé, un pourcentage minimal et constant d'établissements, en consultant au préalable l'ensemble des répondants ciblés et également en leur fournissant une assistance pour remplir le questionnaire par téléphone ou en se rendant sur leur lieu de travail. Un retour au répondant pourrait être réalisé pour obtenir des précisions dans les cas de réponses incomplètes ou apparemment incohérentes. De plus, une association avec les différents regroupements industriels, sectoriels ou de recherche qui inviteraient leurs membres à collaborer pourrait également favoriser un accroissement des taux de participation volontaire.

Globalement, 48 des 650 entreprises rejointes par téléphone ont confirmé œuvrer dans le domaine des NT, soit une proportion de 7,5 %. Considérant que seulement 14 des 48 entreprises l'ayant confirmé ont répondu au questionnaire et que 51 entreprises en tout ont répondu, cela suggérerait qu'en conservant le même ratio de réponses, il serait possible d'estimer qu'environ 175 entreprises œuvreraient en NT au Québec. Les auteurs présument que le choix des entreprises contactées souffre d'un biais positif probable. Il n'en demeure pas moins que le nombre de travailleurs potentiellement exposés aux NP est en croissance au Québec comparé à l'étude précédente de NanoQuébec (NanoQuébec, 2007). En raison des limites liées à la représentativité restreinte de chaque secteur économique québécois, il serait hasardeux d'extrapoler ces résultats visant à estimer, par secteur industriel, le nombre total d'entreprises québécoises utilisant probablement les NT. D'autre part, les données obtenues suggèrent que la majorité des entreprises québécoises sont en phase de développement de produits et de marchés

et qu'un nombre encore très limité d'entre elles produisent leurs applications nanotechnologiques sur une base continue.

Un examen des résultats obtenus démontre que la majorité des entreprises œuvrant en NT sont des petites et moyennes entreprises (PME) de moins de 250 employés, ce qui était attendu compte tenu du profil des entreprises du Québec qui est composé à près de 98 % d'organisations de moins de 100 employés (Légaré et coll. 1999)<sup>5</sup>. Nous observons également que près de la moitié (47 %) des entreprises utilisent les NT dans moins de 10 % de leurs activités, suggérant ainsi l'intégration de NP dans certaines applications spécifiques qui, à terme, pourrait mener au développement de nouveaux produits et de marchés pour des entreprises déjà bien établies. D'autre part, pour 53 % des entreprises qui ont répondu au questionnaire, les NT représentent plus de 10 % de leurs activités, et dans 13 % des cas, les NT constituaient plus de 60 % de leurs activités. Plusieurs entreprises réalisent leur propre développement de produits et disposent de capacité de recherche et de personnel hautement qualifié. Nos études antérieures et notre expérience dans ce domaine démontrent également que de multiples applications industrielles sont développées dans le milieu de la recherche universitaire ou publique et sont éventuellement transférées et implantées en milieu industriel québécois.

La Figure 2 montre la grande variété de marchés ciblés par les entreprises distribuant leurs produits, entre autres, dans les domaines de la santé et de la bionanotechnologie, des produits chimiques de spécialités, des équipements, du transport terrestre, maritime et aérien, de l'électronique, de la construction, de la consommation, sans compter les secteurs militaire, énergétique, minier ou concernant la sécurité. La majorité de ces applications sont en lien direct avec les priorités de recherche établies pour le Québec (NanoQuébec 2012) et pour lesquelles les institutions de recherche reçoivent du financement par différents organismes subventionnaires provinciaux et fédéraux.

Pour l'instant, le nombre de travailleurs potentiellement exposés est souvent de cinq personnes ou moins dans la plupart des entreprises ciblées puisqu'elles sont en majorité des PME et que souvent moins de 10 % de leurs activités étaient liées aux NT. Néanmoins, quelques industries et centres de recherche ont indiqué avoir jusqu'à 100 personnes ou plus œuvrant en NT dans leur établissement. Sans pouvoir évaluer avec précision le nombre de personnes exposées aux NP, il est possible actuellement d'estimer grossièrement que celui-ci représente déjà quelques milliers de travailleurs et d'étudiants au Québec et que ce nombre est en croissance (NanoQuébec 2012).

En ce qui concerne les NP les plus fréquemment utilisées au Québec, il convient de séparer, sur la base des réponses obtenues, les résultats de l'industrie de ceux de la recherche universitaire et publique. En effet, cette ségrégation industrie et recherche est pertinente sous plusieurs angles : les quantités mises en œuvre sont beaucoup plus importantes en production industrielle qu'en recherche, le nombre de travailleurs potentiellement exposés y est souvent beaucoup plus important, alors que les moyens de prévention mis en place et les niveaux d'expertise en SST sont également souvent très différents. De plus, la nature des produits utilisés et les connaissances sur leurs dangers pour la santé et la sécurité des travailleurs (toxicité, inflammabilité et explosibilité) peuvent différer grandement, les produits chimiques

---

<sup>5</sup>[http://expertise.hec.ca/chaire\\_entrepreneuriat/wp-content/uploads/99-06-devprofil-pme.pdf](http://expertise.hec.ca/chaire_entrepreneuriat/wp-content/uploads/99-06-devprofil-pme.pdf) [Dernière consultation : 22 septembre 2014].

nanométriques industriels étant normalement mieux connus que les nouveaux produits conçus par des chercheurs en milieu scientifique ou universitaire.

Le milieu industriel utilise déjà le noir de carbone et les nano-argiles depuis de nombreuses années; 20 % des répondants ont d'ailleurs mentionné utiliser l'un ou l'autre de ces produits ou les deux. Les nanotubes de carbone multiparois et monoparoi, le dioxyde de silicium, le graphène, les fullerènes, les oxydes d'aluminium, de zinc et de titane sont également présents dans plusieurs entreprises. Avec la mise en production de nanocellulose à grande échelle, on peut facilement anticiper au cours des prochaines années une augmentation du nombre d'entreprises d'intégration manipulant ce produit. La majorité de ces NP sont utilisées principalement sous la forme de poudre et de particules et leurs fournisseurs proviennent majoritairement du Canada ou des États-Unis. Pour ce qui est des chercheurs, ceux-ci s'approvisionnent en NP principalement auprès de fabricants ou de distributeurs canadiens et leur travail concerne une très grande variété de produits. Les quantités annuelles mises en œuvre sont normalement inférieures au kilogramme en recherche, mais elles peuvent excéder les dix tonnes métriques dans le secteur industriel. Les données recueillies dans le cadre cette étude ne permettent pas d'estimer le tonnage total actuellement utilisé au Québec.

Que ce soit en industrie ou en recherche, le potentiel de relargage de NP dans l'air peut varier énormément en fonction des opérations et des procédés de mise en œuvre, de la forme des NP (poudre ou en solution), des mesures de prévention mises en place, etc. Les réponses au questionnaire indiquent que certains participants de l'industrie semblent peu préoccupés par certaines opérations alors que d'autres sont préoccupés au point d'introduire des mesures de contrôle satisfaisantes. Plusieurs répondants affirment être inquiets et chercher des solutions notamment en ce qui a trait aux opérations de « démontage et nettoyage du matériel » et celles de « gestion et élimination des déchets ». Ces préoccupations sont émises particulièrement par certains répondants, soit qu'ils sont producteurs, soit qu'ils œuvrent en recherche en industrie. Les chercheurs semblent en général beaucoup plus préoccupés que les industriels (entre six et 13 pour chacun des choix d'opérations proposées) par les aspects de relargage potentiel et d'exposition aux NP auxquels ils répondent par des mesures de contrôle qu'ils jugent satisfaisantes. Entre deux et cinq chercheurs se disent inquiets pour chacune des opérations proposées et recherchent des solutions.

Les pratiques en matière de SST sont relativement semblables en milieu industriel et en recherche. Le personnel est avisé et reçoit de la formation tandis qu'un programme de prévention est établi et implanté. Finalement, un suivi est réalisé. Par contre, les suivis semblent plus fréquents dans les industries, de même que les émissions d'avis sur les procédures d'urgence au personnel. Notons qu'un nombre important de répondants des industries et de la recherche jugent que les pratiques de SST ne s'appliquent pas à leur milieu de travail. Parmi les raisons pouvant expliquer le peu d'intérêt dans la pratique SST, on pourrait mentionner les faibles quantités de NP utilisées, l'utilisation de la même substance depuis des années, mais à l'échelle micrométrique sans protection particulière, ou encore un manque d'information générale en ce qui concerne les dangers potentiels des NP.

En ce qui a trait aux moyens de prévention, la ventilation générale et spécifique, les équipements de protection individuelle, l'isolement des procédés et les procédures de travail détaillées constituent les principaux éléments mis en place autant en entreprises qu'en recherche. Notons

néanmoins que 22 répondants de l'industrie ont mentionné que le sujet ne s'appliquait pas à leur secteur d'activité. Pourtant, une analyse approfondie de leurs réponses, en tenant compte des informations fournies, suggère fortement que certains de ces établissements nécessiteraient la mise en place de moyens de prévention spécifiques.

La section portant sur les améliorations à apporter en matière de santé et de sécurité du travail nous semble particulièrement intéressante. En effet, les questions relatives aux moyens de prévention mis en place portent à croire qu'à quelques exceptions près, les représentants des milieux sont relativement confortables avec leur gestion des aspects de SST. Néanmoins, il ressort très clairement que la diffusion d'information et le développement de connaissances sont souhaités par la majorité des milieux de travail, et ce, pour tous les aspects de SST. Le pourcentage de répondants souhaitant avoir accès à plus d'expertise est par contre plus élevé du côté des chercheurs. Ainsi, au moins la moitié d'entre eux désirait disposer de plus d'information et avoir accès à de l'expertise en matière de toxicité des NP, de bonnes pratiques de travail, de normes et règlements, de l'efficacité des équipements de protection, d'impacts environnementaux et de mesures de sécurité pour la manipulation des NP. De plus, 42 % souhaiteraient plus d'information sur la conception sécuritaire des lieux de travail. Tous ces aspects ont également été identifiés comme un besoin par les répondants des industries.

Une enquête du type de la présente étude comporte inévitablement des limites. Au-delà des aspects avancés précédemment, le taux de réponse à notre enquête pourrait avoir été affecté par divers facteurs, dont la difficulté à rejoindre les personnes clés. En effet, le personnel administratif ou technique dispose généralement de peu de temps pour participer à ce genre d'enquêtes, ce qui constitue un frein, sans compter qu'elles constituent rarement une priorité pour les entreprises ou les chercheurs. De plus, la diversité des questions commande parfois la contribution de plusieurs personnes pour répondre adéquatement au questionnaire, ce qui pourrait certainement affecter le taux de participation ou la qualité des réponses. Une autre limite purement technique peut apparaître avec l'utilisation de la plateforme web. En effet, selon les paramètres de sécurité des serveurs informatiques des répondants, il est possible qu'un pourcentage non négligeable de courriels d'invitation au sondage ait été considéré comme des pourriels et bloqué. De même, l'incertitude du cadre réglementaire et normatif entourant les nanomatériaux au Québec et au Canada ainsi que le potentiel toxique de ces matériaux pourraient avoir non seulement un effet sur le taux de participation, mais également sur la qualité et l'exactitude des réponses. Les NT offrent un marché colossal, mais extrêmement compétitif, et la crainte de divulgation d'information confidentielle a pu conduire certaines entreprises à refuser même de confirmer qu'ils utilisent des NP. D'ailleurs, les appels téléphoniques ont attesté que plusieurs entreprises refusent de participer à tout sondage. Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'il en est de même pour les chercheurs.

De plus, nous avons opté pour un questionnaire autoadministré dans cette étude, choix qui pourrait avoir affecté la qualité des réponses obtenues. Par exemple, certains participants ont répondu aux questions qui ne leur étaient pas destinées, d'autres ont formulé des réponses surprenantes et quelques-uns ont rempli le questionnaire alors qu'ils n'utilisaient pas de NP. Aussi, certains participants qui ont précisé utiliser ou produire des NP ont coché « Non applicable » comme choix de réponse à certaines questions qui devaient pourtant les toucher directement. Même si le choix méthodologique pourrait avoir influencé la qualité des résultats,

nous croyons que ce phénomène n'est pas majeur et que, dans l'ensemble, les résultats sont cohérents.

En dépit des limites de cette étude, il ressort clairement que le Québec dispose :

- ✓ d'une importante capacité de recherche en NT en milieu universitaire, dans les organismes publics et dans certaines entreprises;
- ✓ d'une bonne capacité de production de différents types de NP (nanotubes de carbone, nanocellulose, etc.) et d'une grande variété de métaux et oxydes métalliques de dimensions nanométriques, etc.;
- ✓ d'une collectivité de recherche multidisciplinaire, de producteurs et de distributeurs d'équipements, de producteurs de NP, d'intégrateurs de NP dans toute une gamme de produits finis, d'importateurs, d'exportateurs, de distributeurs de NP et de consultants en NT;
- ✓ d'un marché en pleine expansion et dans lequel plusieurs produits sont déjà distribués, d'autres sont en évaluation par différentes clientèles potentielles et que la mise en marché de multiples nouveaux produits est envisagée à court terme.

Au regard des aspects de santé et de sécurité du travail, l'étude met en évidence que :

- ✓ le nombre de personnes potentiellement exposées ira en augmentant avec le développement de nouveaux produits et l'ouverture de nouveaux marchés; le nombre de travailleurs et d'étudiants actuels peut grossièrement être estimé à quelques milliers;
- ✓ le passage de l'étape de recherche en laboratoire (quelques individus et quelques grammes de NP) à celle de la production à l'échelle industrielle (plusieurs individus et grandes quantités de NP) aura comme conséquence une augmentation considérable du potentiel d'exposition et du niveau de risque potentiel en résultant;
- ✓ la plupart des milieux de travail ont déterminé qu'il y avait des risques spécifiques liés aux NP et mis en place diverses mesures qui leur semblent adéquates; néanmoins, il ressort que d'autres n'ont absolument pas considéré que l'exposition aux NP constituait des risques spécifiques pour la SST;
- ✓ la majorité des milieux de travail, même après avoir affirmé qu'ils maîtrisaient de façon satisfaisante, à quelques exceptions près, l'exposition aux NP, souhaiteraient avoir plus d'information, et ce, sur l'ensemble des domaines touchant la SST et la gestion du risque.

Les membres de l'équipe de recherche interprètent cette contradiction apparente entre les mesures mises en place et les besoins de nouvelles connaissances comme un continuum de sensibilisation et de formation continue. En effet, les milieux de travail ont conçu des programmes et mis en place des mesures de prévention qu'ils croient satisfaisantes, mais expriment possiblement un doute sur l'efficacité de certaines mesures ou de l'ensemble de leur programme de prévention. L'ajout de nouvelles connaissances permet de raffermir les actions déjà réalisées ou, au besoin, de leur apporter certaines améliorations.



Il nous apparaît évident à partir de cette étude que de nouvelles connaissances doivent être développées relativement aux aspects d'évaluation et de gestion du risque liés aux NP et aux NT. Des efforts substantiels de diffusion et de soutien aux entreprises et aux chercheurs doivent être déployés et élargis afin de prévenir le développement de maladies professionnelles ou d'accidents du travail. Ces efforts se justifient par la croissance anticipée dans ce secteur où le volume, la diversité des NP et le nombre de travailleurs ne cessent d'augmenter.



## 6. CONCLUSION

En s'appuyant sur les résultats d'un questionnaire autoadministré, cette étude visait à dresser le portrait des NT dans le milieu industriel et de la recherche universitaire et publique au Québec. Vingt-neuf pour cent des industries qui ont reconnu utiliser des NP lors de l'enquête ont rempli le questionnaire. L'analyse des résultats obtenus suggère que la plupart des entreprises qui manipulent des NP sont des PME et des intégrateurs et non des producteurs. La variété de NP mise en œuvre est importante autant en milieu industriel que dans celui de la recherche. Il est difficile, à partir de cette étude, de déterminer précisément le nombre d'entreprises ou de chercheurs actifs impliqués en NT au Québec. Sur la base du nombre de réponses obtenues et du taux de réponse des entreprises ayant confirmé leur implication en NT, on pourrait estimer à environ 175 le nombre d'entreprises œuvrant en NT au Québec parmi les domaines d'activité spécifiquement ciblés pour l'étude. À titre de comparaison, NanoQuébec estime à environ 250 le nombre total d'entreprises œuvrant dans ce domaine, et ce, pour l'ensemble des domaines d'activité économique. De plus, quelques centaines de chercheurs actifs sont également recensés par NanoQuébec quoiqu'une faible proportion de ceux-ci ait répondu au questionnaire.

Peu importe le milieu, les NP sont principalement manipulées sous forme de poudre, suivie par l'utilisation en suspensions ou intégrés dans un solide. Pour la plupart, les NP proviennent du Canada et des États-Unis. Cependant, les quantités annuelles utilisées varient en fonction des milieux concernés. Les participants du domaine de la recherche n'utilisent que de petits volumes alors que les volumes utilisés en milieu industriel semblent varier selon le degré de maturité du développement des produits. Ainsi, les entreprises qui en sont au stade de la recherche n'utilisent que de petits volumes alors que celles en production peuvent manipuler d'importantes quantités. Une majorité de participants rapporte que des mesures de prévention sont mises en place lors de la manipulation des NP. Néanmoins, les résultats suggèrent aussi un besoin de connaissances additionnelles au regard de diverses problématiques, dont celles de la toxicité des NP, de la conception sécuritaire, des bonnes méthodes de travail et des mesures de manipulation sécuritaire, de l'efficacité des moyens de prévention, de la gestion des déchets et de l'impact environnemental, ainsi que de la nécessité d'adopter un cadre réglementaire. Le fait que plusieurs répondants affirment simultanément avoir mis en place des mesures de prévention adéquates et souhaiter obtenir plus d'informations sur la majorité des aspects de santé et de sécurité du travail suggère un manque d'informations spécifiques répondant à leurs besoins. Dans ce sens, une mise à jour des connaissances disponibles couplée à une stratégie de diffusion permettant de rejoindre ces clientèles semble indispensable afin de soutenir l'implantation de mesures de prévention adéquates. L'efficacité des mesures de prévention, en conditions réelles, mériterait d'être documentée dans les différents milieux de travail québécois.

La présente étude établit un profil transversal, des utilisateurs de NP au Québec sur la base des résultats à un questionnaire auto administré. En dépit de certaines limitations, elle fait ressortir plusieurs besoins de développement et de diffusion de nouvelles connaissances. Les résultats pourraient donc être utilisés dans le cadre des réflexions québécoises sur les mesures à adopter dans le futur pour une utilisation plus soutenue et responsable de ces matériaux dont on ne connaît encore que partiellement les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs qui les manipulent.



## BIBLIOGRAPHIE

- AFSSET. 2006. «Les nanomatériaux: effets sur la santé de l'homme et sur l'environnement». Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, juillet, Paris, 248 p.
- AFSSET. 2008. «Les nanomatériaux - sécurité au travail ». Agence française de sécurité sanitaire, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort, France, 82 p.
- Aschberger, K., H. J. Johnston, V. Stone, R. J. Aitken, S. M. Hankin, S. A. K. Peters, C.L. Tran et F. M. Christensen. 2010a. «Review of carbon nanotubes toxicity and exposure - appraisal of human health risk assessment, based on open literature». *Critical Reviews in Toxicology*, 40(9), 759-790.
- Aschberger, K., H. J. Johnston, V. Stone, R. Aitken, T. C. Lang, S. Hankin, S.A.K. Peters et F. M. Christensen. 2010b. «Review of fullerene toxicity and exposure - appraisal of human health risk assessment, based on open literature». *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 58, 455-473.
- Balas, F., M. Arruebo, J. Urrutia et J. Santamaria. 2010. «Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide». *Nature Nanotechnology*, 5: 93-96.
- Castranova, V. 2009. «Pulmonary response to multi-walled carbon nanotube exposure» dans *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Nanotechnology Occupational and Environmental Health*, 26-29 août, Helsinki. Finlande.
- CIA, U. 2011. «UK Nanotechnology 2011 Survey». London: Institute of Nanotechnology.
- Conti, J. A., K. Killpack, G. Gerritzen, L. Huang, M. Mircheva, M. Delmas, B.H. Harthorn, R.P. Appelbaum et P. A. Holden. 2008. «Health and safety practices in the nanomaterials workplace: Results from an international survey». *Environmental Science & Technology*, 42(9), 3155-3162.
- CORDIS-FP7. 2010. «NanoFATE Nanoparticle Fate Assessment and Toxicity in the Environment». Bruxelles: Union Européenne: European Commission.
- Crosera, M., M. Bovenzi, G. Maina, G. Adami, C. Zanette, C. Florio et F. Larese. 2009. «Nanoparticle dermal absorption and toxicity: a review of the literature». *Int Arch Occ. Env. Health*. doi: DOI 10.1007/s00420-009-0458-x
- CSA. 2012a. «Nanotechnologies - Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies ». Norme CSA - Z 12885, CSA Nanotechnology - Occupational Health and Safety, Canadian Standards Association CSA, Mississauga, Ontario, 120 p.
- CSA. 2012b. «Nanotechnologies - Programme de lutte contre l'exposition aux nanomatériaux de synthèse dans les milieux professionnels». Norme CAN/CSA - Z12885 :12, 120 p.
- De la Rosa Ducut J, É. 2012. «Nanoolkit. Working safely with engineered nanomaterials in academic research settings». California Nanosafety Consortium of Higher Education, 22 p.

- Debia, M., C. Beaudry, S. Weichenthal, R. Tardif et A. Dufresne. 2012. «Caractérisation et contrôle de l'exposition professionnelle aux nanoparticules et particules ultrafines». Études et recherches R-746, IRSST, Montréal, 66 p. Disponible en ligne à : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-746.pdf> [Dernière consultation : 23 octobre 2014].
- Dolez, P., L. Vinches, G. Perron, T. Vu-Khanh, P. Plamondon, G. L'Espérance, K. Wilkinson, Y. Cloutier, C. Dion et G. Truchon. 2012. «Développement d'une méthode de mesure de la pénétration des nanoparticules à travers les matériaux de gants de protection dans des conditions simulant l'utilisation en milieu de travail». Études et recherches R-734, IRSST, Montréal, 127 p. Disponible en ligne à : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-734.pdf> [Dernière consultation : 23 octobre 2014].
- Dufaud, O., A. Vignes, F. Henry, L. Perrin et J. Bouillard 2011. «Ignition and explosion of nanopowders : something new under the dust». *Journal of Physics : conference Series* 304 012076, 20 p. doi: doi:10.1088/1742-6596/304/1/012076
- Eckhoff, R. K. 2009. «Dust Explosion Prevention and Mitigation, Status and Developments in Basic Knowledge and in Practical Application». *International Journal of Chemical Engineering*, article ID 569825, 12 pages. doi: doi:10.1155/2009/569825
- Genaidy, A., T. Tolaymat, R. Sequeira, M. Rinder et D. Dionysiou 2009. «Health effects of exposure to carbon nanofibers : systematic review, critical appraisal, meta analysis and research to practice perspectives». *Science of the Total Environment*, 407, 3686-3701.
- Gerritzen, G., L.-C. Huang, K. Killpack, M. Mircheva, & J. Conti. 2006a. «A Review of Current Practices in the Nanotechnology Industry». Phase Two Report: Survey of current practices in the nanotechnology workplace. Santa Barbara: University of California.
- Gerritzen, G., Huang, L.-C., Killpack, K., Mircheva, M., & Conti, J. 2006b. Review of Safety Practices in the Nanotechnology Industry. Santa Barbara: University of California.
- Haghighat, F., A. Bahloul, J. Lara, R. Mostofi et A. Mahdavi. 2013. «Développement d'une procédure de mesure de l'efficacité des filtres d'appareil de protection respiratoire N95 contre les nanoparticules». Études et recherches R-776, IRSST, Montréal, 73 p. Disponible en ligne à : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-776.pdf> [Dernière consultation : 23 octobre 2014].
- Hock, B., D. Kassel, E. March et D. Netherton. 2006. «Survey of U.S. nanotechnology executives». Small Times Magazine and The University of Massachusetts Lowell.
- Iavicoli, I., V. Leso, L. Fontana et A. Bergamaschi. 2011. «Toxicological effects of titanium dioxide nanoparticles : a review of in vitro mammalian studies». *Eur rev Med Pharmacol Sci* 15, 481-508.
- INRS. 2008. «Les nanotubes de carbone: quels risques, quelle prévention?». INRS, ND 2286.
- INRS. 2010. «Repérage des salariés potentiellement exposés aux nanoparticules (Document pour le médecin du travail». Institut national de recherche et de sécurité.
- ISQ. 2010. «Les petits exécutants R-D au Québec : rapport d'enquête». Institut de la statistique du Québec, Gouvernement du Québec.

- Johnston, H. J., G. R. Hutchinson, F. M. Christensen, S. Peters, S. Hankin, K. Aschberger et V. Stone. 2010. «A critical review of the biological mechanisms underlying the in vivo and in vitro toxicity of carbon nanotubes: The contribution of physic-chemical characteristics». *Nanotoxicology*, 4(2), 207-246.
- Jurron, B. 2010. «Nanotech's Evolving Environmental, Health, and Safety Landscape» in *Nanosafe 2010 congress, 16-18 novembre, Grenoble, France*.
- Kjellstrom, S., S. N. Ross et B. Fridlund. 2010. «Do you know if you deal with nanomaterials; Research ethics in dissertations: ethical issues and complexity of reasoning». *J Med Ethics*, 36(7), 425-430.
- Lam, C. W., J. T. James, R. McCluskey, S. Arepalli et R. L. Hunter. 2006. «A Review of Carbon Nanotube Toxicity and Assessment of Potential Occupational and Environmental Health Risks». *Critical Reviews in Toxicology*, 36(3), 189-217.
- Légaré, M.-H., G. Simard et L. J. Filion. 1999. «La PME au Québec, profil comparatif». École des Hautes Études Commerciales (HEC), Montréal.
- Li, Q., B. Lin, W. Li, C. Zhai et C. Zhu. 2011. «Explosion characteristics of nano-aluminium powder-air mixtures in 20L spherical vessels». *Powder Technology* 212, 303-309.
- Linberg, J. 2007. «Project on Emerging Technologies A Survey on Environmental Health and Safety Risk Management Information Needs And Practices Among Nanotechnology Firms in the Massachusetts Region». Massachusetts.
- Mahdavi, A., A. Bahloul, F. Haghghat et C. Ostiguy. 2013. «Contribution of Breathing Frequency and Inhalation Flow Rate on Performance of N95 Filtering Facepiece Respirators». *Annals of Occupational Hygiene*. doi: doi:10.1093/annhyg/met051, 11 p.
- Mehta, M. 2009. «2009 NCMS Study of Nanotechnology in the U.S. Manufacturing Industry». Ann Arbor, Michigan: National Center for Manufacturing Sciences (NCMS).
- NanoQuébec. 2007. «Profil de la nanotechnologie au Québec». *Rapport interne # 28; Les petits exécutants R-D au Québec : rapport d'enquête*: Institut de la Statistique du Québec.
- NanoQuébec. 2010. «Bilan des réalisations majeures 2001-2010». Disponible en ligne à <https://www.nanoquebec.ca/media/bilan-fr.pdf> [Dernière consultation : 22 septembre 2014].
- NanoQuébec. 2012. « Les nanos au Québec ». Disponible en ligne à <http://www.nanoquebec.ca/fr/les-nanos-au-quebec.php> [Dernière consultation : 22 septembre 2014].
- Nanosafety-Partnership-Group, U. 2012. «Working safely with nanomaterials in research and development». Nanosafety Partnership Group, 43 p.
- NIOSH. 2009. «Approaches to safe nanotechnology managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials». Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Publication 2009-125, 104 p.

- NIOSH. 2011. «Occupational Exposure to Titanium Dioxide». *Current Intelligence Bulletin 63* (140 p.) Department of health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH).
- NIOSH. 2012. «General safe practices for working with engineered nanomaterials in research laboratories». Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, 42 p.
- NIOSH. 2013. «Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers». Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH, 156 p.
- Ostiguy, C., M. Debia, B. Roberge et A. Dufresne. 2014. «Nanomatériaux : Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques en milieu de travail» deuxième édition. Études et recherches R-840, IRSST, Montréal, 98 p. Disponible en ligne à : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-840.pdf> [Dernière consultation : 23 octobre 2014].
- Ostiguy, C., B. Roberge, L. Ménard et C.-A. Endo. 2008. «Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques reliés aux nanoparticules de synthèse». Études et recherches: Guide technique R-586, IRSST, Montréal, 73 p. Disponible en ligne à : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-586.pdf> [Dernière consultation : 23 octobre 2014].
- Ostiguy, C., B. Roberge, C. Woods et B. Soucy. 2010. «Les nanoparticules de synthèse: connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en SST» deuxième édition. Études et recherches R-646, IRSST, Montréal, 149 p. Disponible en ligne à : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/pubirsst/r-646.pdf> [Dernière consultation : 23 octobre 2014].
- Ostiguy, C., B. Soucy, G. Lapointe, C. Woods, L. Ménard et M. Trottier. 2008. «Les effets sur la santé reliés aux nanoparticules» deuxième édition. Études et recherches R-558, IRSST, Montréal, 120 p. Disponible en ligne à : <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-558.pdf> [Dernière consultation : 23 octobre 2014].
- Poland, C., R. Duffin, I. Kinloch, A. Maynard, W. A. H. Wallace, A. Seaton, V. Stone, S. Brown, W. MacNee et K. Donaldson. 2008. «Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study». *Nature Nanotechnology*, 3, 423-428.
- Pritchard, D. 2004. «Literature review - explosion hazards associated with nanopowders». *Health and Safety Laboratory, HSL/2004/12*. Harpur Hill, Buxton, UK, 22 p.
- Ricaud, M., E. Belut, G. Castaing, B. Diers, A. Hou, I. Lanfranconi, R. Lebreton, D. Moncoq, C. Ouilic-Tissier et A. Soyez. 2012. «Nanomatériaux - prévention des risques dans les laboratoires». INRS.
- Richmond, D. et J. Noah. 2010. «China mapping emerging nanotechnology policies and regulations: The Case of the People's Republic of China». Lee Kuan Yew School of Public Policy.



- Roco, M. C. 2011. «The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years». *J. Nanopart. Res.*, 13, 427-445.
- Savolainen, K., L. Pylkkanen, H. Norppa, G. Falck, H. Lindberg, T. Tuomi, M. Vippola, H. Alenius, K. Hameri, J. Koivisto, D. Brouwer, D. Mark, D. Bard, M. Berges, E. Jankowska, M. Posniak, P. Farmer, R. Singh, F. Krombac, P. Bihari, G. Kasper et M. Seipenbusch. 2010. «Nanotechnologies, engineered nanomaterials and occupational health and safety - A review». *Safety Science*, 48(957-963).
- Schmid, K., B. Danuser et M. Riediker. 2010. «Nanoparticle usage and protection measures in the manufacturing industry-a representative survey». *J Occup Environ Hyg*, 7(4), 224-232.
- Sharifi, S., S. Behzadi, S. Laurent, L. Forrest, P. Stroeve et M. Mahmoudi. 2012. «Toxicity of nanomaterials». *Critical Review. Chem Soc Rev*, 41:2323-2343.
- Shvedova, A., E. Kisin, R. Mercer, A. Murray, V. Johnson, A. Potapovich, Y. Tyurina, O. Gorelik, S. Arepalli, D. Schwegler-Berry, A. Hubbs, J. Antonini, D. Evans, B. Ku, D. Ramsey, A. Maynard, V. Kagan, V. Castranova et P. Baron. 2005. «Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice». *American Journal of Physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology*, 289, 698-708.
- Shvedova, A., E. Kisin, A. Murray, V. Johnson, O. Gorelik, S. Arepalli, A.F. Hubbs, R. Mercer, S. Stone, D. Frazer, T. Chen, G. Deye, A. Maynard, P. Baron, R. Mason, M. Kadiiska, K. Stadler, A. Mouthys-Mickalad, V. Castranova et V. Kaagan. 2008. «Inhalation of carbon nanotubes induces oxidative stress and cytokine response causing respiratory impairment and pulmonary fibrosis in mice». *Toxicologist*, 102, A1497.
- Shvedova, A., A. Pietroiusti, B. Fadeel et V. Kagan. 2012. «Mechanisms of carbon nanotubes-induced toxicity: focus on oxidative stress». Review article. *Tox Appl Pharm*, 261:121-133.
- Simko, M. et M.-O. Mattsson. 2010. «Risks from accidental exposure to engineered nanoparticles and neurological health effects: a critical review». *Particle and Fiber Toxicology*, 7, 42-56.
- Song, T.-T. 2010. «Taiwan Position on Nano EHS». NanoTechnology Research Center, Industrial Technology Research Institute. Singapore: Lee Kuan Yew School of Public Policy, NUS.
- StatCan. 2007. «Aperçu et examen des résultats de l'enquête pilote sur la nanotechnologie au Canada». Ottawa: Section des enquêtes, de l'innovation et de l'information électronique (DSIIE); Ministère de l'industrie.
- Stone, V., S. Hankin, R. Aitken, K. Aschberger, A. Baun, F. Christensen, T. Fernandes, S. Hansen, N. Harmann, G. Hutchison, H. Johnston, C. Micheletti, S. Peters, B. Ross, B. Sokull-Kluettgen, D. Stark et L. Tran. 2009. «Engineered Nanoparticles: review of Health and Environmental Safety». EC contract number 218433, 448 p.
- SWA. 2009. «Engineered Nanomaterials: evidence on the effectiveness of workplace controls to prevent exposure». Safe Work Australia, 75p.

- SWA. 2012. «Safe handling and use of carbon nanotubes». SafeWork Australia, 35 p.
- Yang, W., J. I.Peters et R. O. Williams. 2008. «Inhaled nanoparticles : A current review». *International Journal of Pharmaceutics* 356, 239-247.

## **ANNEXE 1**

**Autres types de NP rapportées comme étant utilisées par les participants  
(en supplément aux formes matérielles proposées dans le questionnaire)**



Tableau A : Autres types de NP rapportées (autres que celles proposées) dans le secteur industriel et les formes matérielles utilisées.

NP	Formes matérielles							
	Les poudres/particules	Les suspensions dans les solvants	Les aérosols liquides/solides	Les gels	Les films minces	Intégrés dans un solide	Agglomérats de faible volatilité	Autre
Mica	1	0	0	0	0	0	0	0
Nanotubes d'argile	1	0	0	0	0	0	0	0
Gels de silice	0	0	0	1	0	0	0	0
Résines polymériques	0	1	0	0	0	0	0	0
Peinture en poudre	1	0	0	0	0	0	0	0
Biopolymère de type PHA	1	0	0	0	0	0	0	0
Nanotubes de carbone simple paroi	0	0	0	0	0	0	1	0
Ni, Cu, W, Ta, Nb, (Oxydes, Nitrites, etc.)	1	0	0	0	0	0	0	0

Tableau B : Provenance des autres types de NP rapportées (autres que celles proposées) par les participants du secteur de l'industrie.

NP	Provenance			
	Canada	États-Unis	Chine, Corée, Japon	Produite sur site
Mica	0	0	1	0
Nanotubes d'argile		1		
Gels de silice	PNI	PNI	PNI	PNI
Résines polymériques	PNI	PNI	PNI	PNI
Peinture en poudre	1	0	0	0
Biopolymère de type PHA	1	0	0	0
Nanotubes de carbone simple paroi	1	0	0	0
Ni, Cu, W, Ta, Nb, (Oxydes, Nitrites, etc.)	0	0	0	1

PNI : Provenance non indiquée

Tableau C : Quantités annuelles approximatives des autres types de NP utilisées (autres que celles proposées) dans le secteur industriel.

NP	Quantités annuelles approximatives					
	< 1 gramme	1 gramme à 999 grammes	1 kg à 99 kg	100 kg à 999 kg	1 tonne à 10 tonnes	> 10 tonnes
Mica	0	0	1	0	0	0
Nanotubes d'argile	0	0	1	0	0	0
Gels de silice	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI
Résines polymériques	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI
Peinture en poudre	0	0	0	1	0	0
Biopolymère de type PHA	1	0	0	0	0	0
Nanotubes de carbone simple paroi	0	1	0	0	0	0
Ni, Cu, W, Ta, Nb, (Oxydes, Nitrites, etc.)	0	0	1	0	0	0

QNI : Quantité non indiquée

Tableau D : Autres types de NP rapportées (autres que celles proposées) dans le secteur universitaire et les formes matérielles utilisées.

NP	Formes matérielles							
	Les poudres/particules	Les suspensions dans les solvants	Les aérosols liquides/solides	Les gels	Les films minces	Intégrés dans un solide	Agglomérats de faible volatilité	Autre
Oxyde de gadolinium (1)	0	1	0	0	0	1	0	0
Oxydes de Manganèse (1)	2	0	0	0	0	0	0	0
Talc	1	0	0	0	0	0	0	0
Carbonate de calcium	1	0	0	0	0	0	0	0
Nickel	1	0	0	0	0	0	0	0
NP de Si	1	0	0	0	0	0	0	0
NP d'alliages Cu-Ni-Fe-X	1	0	0	0	0	0	0	0
Oxydes de cobalt	1	0	0	0	0	0	0	0
Oxydes de cuivre	1	0	0	0	0	0	0	0
NP acide nucléique / chitosane ou polyéthylèneimine	0	1	0	0	0	0	0	0
Oxyde de zirconium	0	1	0	0	0	0	0	0
NP de Platine	1	0	0	0	1	0	0	0
Nanostructures peptidiques et protéiques	1	0	0	0	0	0	0	0
NP alliages de Fer-Platine	1	0	0	0	0	0	0	0
NP de NaCl	0	0	1	0	0	0	0	0
Fer-Cobalt	0	1	0	0	0	0	0	0



Tableau E : Provenance des autres types de NP rapportées (autres que celles proposées) par les participants du secteur universitaire.

NP	Provenance		
	Canada	États-Unis	Produite sur site
Oxyde de gadolinium	1	0	1
Oxydes de manganèse	1	0	1
Talc	0	1	0
Carbonate de calcium		1	0
Nickel	1	0	0
NP de Si	0	0	1
NP d'alliages Cu-Ni-Fe-X	0	0	1
Oxydes de cobalt	0	0	1
Oxydes de cuivre	0	0	1
NP acide nucléique / chitosane ou polyéthylèneimine	PNI	PNI	PNI
Oxyde de zirconium	0	1	0
NP de Platine	0	0	2
Nanostructures peptidiques et protéiques	0	0	1
NP alliages de Fer-Platine	0	0	1
NP de NaCl	PNI	PNI	PNI
Fer-Cobalt	1	0	0

PNI : Provenance non indiquée

Tableau F : Quantités annuelles approximatives des autres types de NP utilisées (autres que celles proposées) dans le secteur universitaire.

NP	Quantités annuelles approximatives					
	< 1 gramme	1 gramme à 999 grammes	1 kg à 99 kg	100 kg à 999 kg	1 tonne à 10 tonnes	> 10 tonnes
Oxyde de gadolinium	1	1	0	0	0	0
Oxydes de manganèse	0	2	0	0	0	0
Talc	0	0	1	0	0	0
Carbonate de calcium	0	0	1	0	0	0
Nickel	0	1	0	0	0	0
NP de Si	0	1	0	0	0	0
NP d'alliages Cu-Ni-Fe-X	0	0	1	0	0	0
Oxydes de cobalt	0	1	0	0	0	0
Oxydes de cuivre	1	0	0	0	0	0
NP acide nucléique / chitosane ou polyéthylèneimine	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI
Oxyde de zirconium	0	0	1	0	0	0
NP de Platine	2	0	0	0	0	0
Nanostructures peptidiques et protéiques	1	0	0	0	0	0
NP alliages de Fer-Platine	1	0	0	0	0	0
NP de NaCl	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI	QNI
Fer-Cobalt	0	1	0	0	0	0

QNI : Quantité non indiquée

## **ANNEXE 2**

### **Questionnaire version française**



## QUESTIONNAIRE VERSION FRANÇAISE

### Page d'introduction 1

#### Enquête sur l'utilisation québécoise des nanotechnologies

---

La nanotechnologie (NT) offre un potentiel économique important au Québec. Cependant, les dernières revues de la littérature indiquent que les nanomatériaux et surtout les nanoparticules (NP) présentent des défis particuliers en termes de santé et sécurité du travail (SST). Au Québec, on estime qu'environ 2000 travailleurs et chercheurs seraient potentiellement exposés aux NP. Cette enquête a pour objectif de préciser l'utilisation croissante de la NT ainsi que la manipulation des NP. Les résultats permettront de guider les pratiques des chercheurs et des travailleurs du secteur industriel impliqués dans le domaine. Ces derniers pourront s'en inspirer pour mettre en place des mesures adéquates afin de favoriser un milieu de travail sain et sécuritaire et pour protéger l'environnement.

Cette étude concerne uniquement les NP solides générées intentionnellement dans le but d'exploiter leurs caractéristiques uniques. Par définition, une NP doit avoir au moins une dimension inférieure à 100 nanomètres. Les agrégats des NP sont également inclus dans notre étude. Par contre, les NP générées comme sous-produits ou qui n'ont aucune application commerciale (particules d'échappement des véhicules diesel, fumées de soudage etc.) sont exclues.

#### **SST Développer de meilleures pratiques de SST dans le domaine des NT**

La toxicité/réactivité des NP n'est encore que partiellement comprise et documentée. En attendant de disposer de l'ensemble des connaissances requises, il est important de poursuivre les efforts afin de minimiser ou d'éliminer l'exposition professionnelle aux NP. Les données de cette étude aideront à dresser un portrait de la situation des expositions potentielles au Québec en déterminant les quantités et les types de NP utilisées ainsi que les pratiques courantes en matière de SST. Grâce aux résultats, les chercheurs et collaborateurs de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST) travailleront conjointement avec les utilisateurs de NP afin d'établir des mesures de protection réalistes qui répondent également aux objectifs de prévention en SST. Les connaissances acquises soutiendront les milieux de travail et contribueront à la prévention des accidents et des maladies professionnelles liées aux NP. Ce

travail rayonnera au-delà des frontières du Québec en influençant les efforts parallèlement fournis aux niveaux national et international, étape essentielle pour le développement responsable des NT.

### **Aidez-nous à vous aider**

En 2008, l'IRSST en collaboration avec la CSST et NanoQuébec a publié un [Guide de Bonnes Pratiques](#) qui décrit les risques liés aux NP. Le guide fournit également aux utilisateurs du Québec des procédures de manipulation sécuritaires des NP. Les données de cette nouvelle enquête seront utilisées pour actualiser le guide en mettant l'accent sur des situations réelles pertinentes pour les industries et les chercheurs du Québec. Le but sera atteint tout en assurant la confidentialité des données de l'enquête. Pour nous aider à atteindre nos objectifs et contribuer à préserver la santé et la sécurité de vos employés, nous vous invitons à participer au sondage en ligne. L'enquête ne prendra qu'une dizaine de minutes de votre précieux temps.

### **Votre participation**

Votre participation est volontaire. Une fois votre fichier de données soumis, il sera intégré dans notre base de données confidentielle. Seules les données agrégées seront utilisées de façon anonyme à des fins statistiques et de publications, assurant ainsi la confidentialité des informations que vous nous aurez fournies.

### **Notre Équipe**

L'équipe de recherche est composée de Charles-Anica Endo et David Roughley (AGY Consulting), Claude Émond (Université de Montréal), et Claude Ostiguy (IRSST). Le projet de recherche a été activement supporté par l'organisme NanoQuébec.

### **Nous Contacter**

Si vous avez des questions, veuillez contacter Charles-Anica Endo au 514 515-3336 ou par [Courriel](#).

## Page d'introduction 2

### Comment remplir votre questionnaire - Date limite de soumission

---

#### **Comment naviguer au sein du questionnaire et répondre à l'enquête**

À votre convenance, vous pouvez accéder à l'étude et ouvrir un fichier de réponse (visible uniquement par vous et l'équipe de recherche). Vous pouvez y accéder plus d'une fois pour visualiser, modifier ou compléter vos réponses. Ceci permet également la contribution de plusieurs personnes au même fichier de réponses. Toutefois, vous devez accéder à votre dossier en utilisant le même ordinateur/adresse IP pour toutes les visites. Vos réponses seront sauvegardées dans votre fichier de réponse jusqu'à ce que vous appuyez sur le bouton **J'ai Fini de Répondre** sur la dernière page de l'enquête. À ce stade vos réponses seront intégrées dans notre base de données anonymisée et vous serez retiré de notre liste de suivi/rappels. Après la soumission, vous n'aurez plus accès à votre fichier de réponses.

Nous vous prions de remplir le sondage dans les 2 semaines suivant la date d'envoi du courriel d'invitation. Veuillez noter qu'il sera impossible de retirer vos données une fois que vos réponses nous auront été transmises puisqu'elles seront intégrées de façon anonyme à notre base de données.

Pour avancer/reculer dans l'enquête, veuillez utiliser les onglets de navigation situés en bas de chaque page. Pour ignorer toutes les modifications que vous avez faites sur la page en cours et/ou pour quitter le sondage, cliquez sur **Ignorer les modifications/Quitter** dans le coin supérieur droit de la page. Il se pourrait que vous deviez réajuster la taille de votre fenêtre pour l'apercevoir puisque le sondage est optimisé pour une projection sur un écran de 17 pouces. Si vous voulez enregistrer le contenu de la page courante puis quitter le questionnaire, veuillez avancer vers la page suivante puis cliquer sur **Ignorer les modifications/Quitter**. Cependant, si vous préférez travailler hors ligne, nous pouvons vous envoyer une version du questionnaire à remplir sous format PDF. Dans ce cas, contactez-nous par [courriel](#).

Toutes les questions sont facultatives mais veuillez répondre à autant que possible. Ceci nous aidera à dresser un tableau précis de la communauté d'utilisateurs des NP. Vous pouvez contourner toutes les questions qui ne sont pas pertinentes pour votre situation.

## **Confidentialité**

Pour garantir la confidentialité de vos réponses, un numéro d'identification personnel vous a été envoyé par courriel. Seul ce numéro vous autorisera à remplir votre questionnaire. La présente enquête ne demandera aucune information personnelle. Les numéros d'identification personnelle et les réponses à vos questions sont dans des fichiers séparés sous le contrôle de l'équipe de recherche seulement. Veuillez également noter que tout le personnel assigné au projet a signé une entente de confidentialité avec AGY Consulting qui protège vos données.

## **Éthique et procédures relatives aux plaintes**

Pour toute information d'ordre éthique concernant les conditions du déroulement de votre participation à ce projet, vous pouvez contacter le coordonnateur du Comité d'éthique de la recherche de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal (CÉRFM) soit par courriel à l'adresse [cerfm@umontreal.ca](mailto:cerfm@umontreal.ca) ou par téléphone au (514) 343-6111, poste 2604.

Toute plainte concernant cette recherche peut être adressée à l'Ombudsman de l'Université de Montréal soit par téléphone au 514-343-2100 (les appels à frais virés sont acceptés) ou par courriel à l'adresse [ombudsman@umontreal.ca](mailto:ombudsman@umontreal.ca). L'Ombudsman fournit des services en Anglais et en Français de 9 h à 17 h.

## Début du questionnaire

---

### **1. Authentification des participants**

**Veillez entrer le code d'identification qui vous a été envoyé avec votre invitation par courriel. (Format: AGY XXXX)**

Cette section vise à identifier qui participe à la chaîne d'approvisionnement en nanoparticules au Québec. Veuillez nous en dire un peu plus sur votre organisation.

### **2. Ressources Humaines**

**Veillez estimer le nombre d'employés présents dans votre installation au Québec (équivalent temps plein). Les entreprises non commerciales (universitaires ou organismes gouvernementaux) doivent indiquer le nombre de travailleurs impliqués dans leur groupe immédiat.**



**Sélectionnez votre réponse parmi les options du menu déroulant ci-dessous:**

- a. Moins de 5 personnes
- b. 5-10 personnes
- c. 11-50 personnes
- d. 51-100 personnes
- e. 101-250 personnes
- f. 251-500 personnes
- g. Plus de 500 personnes

**3. Nanoparticules dans vos activités**

**Quelle est l'importance des nanoparticules dans votre activité globale?**

**Cochez une réponse dans les propositions ci-dessous:**

- a. Quelques-uns de mes domaines d'intérêt impliquent des nanoparticules (en dessous de 10% des activités)
- b. Un nombre important de mes domaines d'intérêt impliquent des nanoparticules (entre 10% et 60% des activités)
- c. La plupart de mes domaines d'intérêt impliquent des nanoparticules (plus de 60% des activités)

**4. Type(s) de marché(s) concerné(s)**

**PARTICIPANTS DE L'INDUSTRIE SEULEMENT**

**Les compagnies en phase de démarrage (startups), les compagnies industrielles, les fournisseurs, les distributeurs, les fabricants, les consultants (toutes entreprises commerciales) devraient répondre à cette question puis continuer à la Question 6.**

**Quel(s) type(s) de marché(s) desservez-vous?**

**Cochez tout ce qui s'applique parmi les propositions ci-dessous:**

- a. Équipements / outils de manipulation
- b. Composants électroniques et semi-conducteurs
- c. Technologies de l'information et de la communication
- d. Aéronautique
- e. Transports terrestre et maritime
- f. Produits et procédés chimiques
- g. Environnement
- h. Sécurité
- i. Militaire
- j. Énergie
- k. Construction
- l. Machines automates / robotique
- m. Produits de consommation courante/cosmétiques/textile
- n. Santé / biotechnologie / pharmacie
- o. Agriculture et alimentation
- p. Mines et matières premières
- q. Matériaux composites / articles de sport
- r. Autres (veuillez décrire ci-dessous)

## 5. Objet de recherche

### PARTICIPANTS DU DOMAINE DE LA RECHERCHE OU DU DOMAINE ACADÉMIQUE UNIQUEMENT

Universitaires/Collèges/Universités/Laboratoires gouvernementaux (à but non lucratif)  
devraient répondre à cette question puis continuer à la Question 6.

Quel est l'objet de votre recherche?

Cochez tout ce qui s'applique parmi les propositions ci-dessous:

- a. **Nanoélectronique.** Le silicium, les semi-conducteurs exotiques, les points quantiques, les dispositifs à électron unique, le nanomagnétisme, la spintronique, l'informatique quantique, les supraconducteurs à haute température (matériaux électroniques inorganiques principalement).
- b. **Nanochimie.** Électrochimie, les cellules "microfuel", la catalyse, les céramiques, les sciences de surface, les nanoparticules, les membranes.
- c. **Bionanotechnologie.** Le bio-marquage, les biocapteurs, études de l'ADN/ARN, les protéines et la protéomique, la génomique, les produits pharmaceutiques, délivrance de médicaments (drug delivery), l'imagerie médicale.
- d. **Microusinage / MEMS.** Les MEMS, la microfluidique, microtransducteurs, les micropuces, les puces à ADN.
- e. **Dispositifs moléculaires.** Les commutateurs et capteurs moléculaires, l'électronique moléculaire, les CNT (matières organiques et inorganiques sont incluses).
- f. **Diagnostique.** Le développement ou la fourniture de l'imagerie, la microscopie, la spectroscopie, l'analyse et les capacités de manipulation pour les nanosciences.
- g. **Nanophotonique.** L'optoélectronique, les DEL, les cellules solaires, les effets nanooptiques dans les matériaux, les tableaux d'imagerie, les cristaux liquides.
- h. **Autres.** (Veuillez décrire ci-dessous)

Cette section vise à comprendre comment et sous quelle forme les nanoparticules sont utilisées lors de vos activités.

## 6. Activités

Veuillez identifier votre (vos) secteur(s) d'activité(s) en choisissant parmi les options suivantes

Cochez tout ce qui s'applique dans les propositions ci-dessous:

- a. Laboratoire de recherche ou universitaire (recherche à l'échelle nanométrique de matériaux ou structures)
- b. Producteur de nanoparticules (synthétiques ou naturelles)
- c. Importateur / exportateur de NP (synthèse ou procédés naturels)
- d. Distributeur de nanoparticules
- e. Intégrateur / utilisateur de nanoparticules
- f. Fournisseur d'équipement pour la production et/ou la manipulation des nanoparticules
- g. Fournisseur de composants ou de matériaux incorporant des nanotechnologies
- h. Fabricant de systèmes utilisant des nanoparticules et les nanotechnologies
- i. Autres (Veuillez décrire ci-dessous)

## **7. Implication directe**

**Combien de personnes au sein de votre organisation sont directement impliquées dans la recherche & développement et/ou dans la production/manipulation des nanoparticules ou des agglomérats de nanoparticules?**

**Sélectionnez votre réponse dans le menu déroulant ci-dessous:**

- a. Aucun
- b. 1-5 personnes
- c. 6-10 personnes
- d. 11-15 personnes
- e. 16-20 personnes
- f. 21-50 personnes
- g. 51-100 personnes
- h. Plus de 100 personnes

## **8. Formation des travailleurs**

**Quels sont les niveaux d'éducation des personnes de votre organisation/laboratoire qui sont directement impliquées dans la recherche & développement et/ou dans la production/manipulation des nanoparticules ou des agglomérats de nanoparticules?**

**Cochez tout ce qui s'applique parmi les propositions ci-dessous:**

- a. Niveau universitaire: Doctorat ou équivalent
- b. Niveau universitaire: Maîtrise ou équivalent
- c. Niveau universitaire: Baccalauréat
- d. Niveau collégial: Technicien
- e. Secondaire
- f. Aucune formation
- g. Autres (veuillez décrire ci-dessous)

## **9. Types de nanoparticules**

**Quel(s) type(s) de nanoparticules produisez-vous ou manipulez-vous que ce soit pour la fabrication de vos produits ou à des fins de recherche?**

Utilisez le menu déroulant ci-dessous pour indiquer votre (vos) choix:

	Forme Matérielle	Provenance	Quantités annuelles approximatives
Les fullerènes (C60)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Le carbone (noir de carbone)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les nanotubes de carbone (simple paroi)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les nanotubes de carbone (double paroi)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les nanotubes de carbone (multi-parois)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Le graphène	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les nanoparticules d'argent	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les nanoparticules d'or	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les nanoparticules de fer (oxyde de fer)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Le dioxyde de titane	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
L'oxyde d'aluminium	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
L'oxyde de cérium	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
L'oxyde de zinc	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Le dioxyde de silicium	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Le dendrimère	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les nano-argiles	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Les points quantiques	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
La cellulose nanocristalline	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Autre # 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Autre # 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Autre # 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Autre # 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Veillez nommer les autres nanoparticules identifiés ci-dessus comme Autre**

## **10. Commercialisation**

**Est-ce que votre organisation/laboratoire de recherche introduira des produits ou des procédés relevant du domaine des nanotechnologies sur le marché? Si oui, quand?**

**Cochez une des propositions ci-dessous:**

- a. Nous avons déjà introduit des produits / procédés sur le marché
- b. Nous introduirons des produits / procédés dans moins d'un an
- c. Nous introduirons des produits / procédés dans 1 à 3 ans
- d. Nous introduirons des produits / procédés dans 3 à 5 ans
- e. Nous introduirons des produits / procédés dans plus de 5 ans
- f. Non applicable

À la Question 9, vous nous avez parlé des nanoparticules que vous utilisez. Cette section est consacrée spécifiquement à l'utilisation, la production ou la manipulation des nanoparticules ou de leurs agglomérats. Elle vise à recueillir des données sur ce que vous faites ou ce que vous ressentez le besoin de faire pour faire face aux questions de sécurité et de problèmes potentiels de santé reliés aux nanoparticules et leurs agglomérats.

## **11. Les nanoparticules en milieu de travail**

**Les nanoparticules sont-elles présentes dans votre milieu de travail? Si oui, comment sont-elles générées?**

**Cochez toutes les cases applicables parmi les propositions ci-dessous:**

- a. Les nanoparticules ne sont pas intentionnellement produites
- b. Les nanoparticules sont produites / synthétisées intentionnellement sur notre site
- c. Les nanoparticules sont manipulées / utilisées dans le processus de fabrication (comme composants)
- d. Les nanoparticules sont des particules intermédiaires générées au cours du processus de fabrication in situ
- e. Autre (veuillez décrire ci-dessous)

## 12. Relargage potentiel de nanoparticules

**Veillez identifier les opérations/manipulations effectuées dans votre environnement de travail qui peuvent potentiellement générer de la poussière contenant des NP, et indiquez votre niveau d'inquiétude.**

**Cochez toutes les réponses applicables parmi les propositions ci-dessous :**

	Nous sommes inquiets et recherchons des méthodes de contrôle nouvelles ou améliorées	Nous sommes préoccupés et avons introduit des mesures de contrôle satisfaisantes	Nous ne sommes pas préoccupés à ce stade	Non applicable
Pesée des matériaux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transfert à sec des matériaux	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Emballage à sec / reconditionnement	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Traitement des nanoparticules	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fonctionnement des réacteurs / mélangeurs	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Démontage et nettoyage du matériel	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gestion / Élimination des déchets	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autre 1 (décrire ci-dessous)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autre 2 (décrire ci-dessous)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autre 3 (décrire ci-dessous)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Autre 4 (décrire ci-dessous)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## 13. Pratiques en matière de SST

**Quelles mesures de manipulations sécuritaires des nanoparticules avez-vous développées ou êtes-vous en train de développer?**

**Cochez tout ce qui s'applique dans les propositions ci-dessous:**

- Non applicable
- Programmes de prévention ou d'information sur les bonnes pratiques pour limiter les risques chez les travailleurs concernés
- Information à propos des risques accessible aux travailleurs concernés
- Formation interne développée pour les travailleurs concernés
- Mise à disposition d'un consultant en hygiène, d'un toxicologue ou d'un médecin du travail
- Émission d'avis contenant les procédures d'urgence à suivre en cas d'accidents, de déversements, etc.
- Suivi des directives de santé et de sécurité émises par le fournisseur ou les ressources externes
- Autres (veuillez décrire ci-dessous)

#### **14. Sécurité et protection**

**Quels sont les moyens de protection que vous utilisez pour manipuler les nanoparticules ou leurs agrégats?**

**Cochez tout ce qui s'applique dans votre milieu de travail:**

- a. Non applicable
- b. Aucun moyen
- c. Ventilation générale
- d. Ventilation avec aspiration à la source
- e. Ventilation spécifique (hotte / chambre dédiée)
- f. Isolement du procédé de fabrication (confinement)
- g. Procédé de fabrication en boucle fermée
- h. Procédures de travail détaillées
- i. Tapis collant au point d'entrée/sortie
- j. Vêtements de protection jetables (ex: bouchons Tyvex, chaussons)
- k. Équipements de protection individuelle (masque, lunettes, gants)
- l. Protection complète (ex: costumes HAZMET)
- m. Autre (veuillez décrire ci-dessous)

#### **15. Entreposage**

**Comment conservez-vous vos nanoparticules?**

**Cochez un seul choix parmi les propositions ci-dessous:**

- a. Non applicable / Nous ne stockons pas les nanoparticules
- b. Aucune exigence particulière
- c. Nous utilisons un espace désigné / séparé
- d. Nous utilisons une zone spécialement identifiée et équipée pour les nanoparticules
- e. Nous utilisons un entrepôt situé à l'extérieur
- f. Autre (veuillez décrire ci-dessous)

#### **16. Confinement**

**Quelles mesures avez-vous mis en place pour contrôler la libération de nanoparticules et/ou d'agrégats dans l'environnement?**

**Cochez tout ce qui s'applique parmi les propositions ci-dessous:**

- a. Non applicable
- b. Aucune
- c. Recyclage des nanoparticules
- d. Filtrage / recyclage de l'air
- e. Traitement des déchets et eaux usées sur notre site
- f. Traitement des déchets et eaux usées par une entreprise spécialisée
- g. Destruction des matériaux sur site
- h. Autre (veuillez décrire ci-dessous)

## **17. Améliorations en matière de Santé et Sécurité au Travail**

**Quelles sont les connaissances ou informations supplémentaires qui pourraient aider votre organisation/laboratoire à gérer plus efficacement les enjeux concernant les nanoparticules et la Santé et Sécurité au Travail?**

**Cochez tout ce qui s'applique parmi les propositions ci-dessous:**

- a. Non applicable
- b. Les connaissances sur la toxicité des nanoparticules
- c. Les connaissances sur l'efficacité des équipements de protection personnelle
- d. Les connaissances des normes et des règlements spécifiquement établis pour les nanoparticules
- e. La connaissance des impacts environnementaux des nanoparticules
- f. Les connaissances des mesures de sécurité pour la manipulation des nanoparticules (entreposage, manutention)
- g. Les connaissances sur comment concevoir des lieux de travail sains et sécuritaires
- h. La connaissance des bonnes pratiques de travail avec les nanoparticules
- i. L'information sur les entreprises spécialisées dans la manipulation des nanoparticules
- j. Autre (veuillez décrire ci-dessous)