

Dominique Vinck

L'équipement du chercheur : comme si la technique était déterminante

Résumé

Le texte explore la question de l'équipement des chercheurs. Il traite des dynamiques d'action et des ressources dont se dotent les acteurs en situation. Il suggère de traiter la constitution interactionnelle et sociotechnique de ces équipements. Le texte s'appuie sur l'ethnographie d'un laboratoire de recherche et développement technologique.

Abstract

This text investigates the question of the equipment used by researchers. It analyses dynamics of action and the resources with which actors in situation are endowed. It suggests looking at the interactional and sociotechnical constitution of this equipment. The article is based on an ethnographic study of a technical research and development laboratory.

Pour citer cet article :

Dominique Vinck. L'équipement du chercheur : comme si la technique était déterminante, *ethnographiques.org*, Numéro 9 - février 2006 [en ligne]. <http://www.ethnographiques.org/2006/Vinck.html> (consulté le [date]).

Sommaire

Introduction

Ethnographie de laboratoires dans le domaine des micro et nanotechnologies

Le souci du gros équipement

Situation n° 1 : l'assemblée générale d'un département de recherche technologique

Situation n° 2 : le déménagement des laboratoires et des instruments

Situation n° 3 : instrument hybride et utilisation non standard

Le gros souci du petit équipement

Situation n° 4 : l'équipement de la propreté en salle blanche

Situation n° 5 : l'équipement du projet

L'équipement comme sceptre

La culture matérielle

L'équipement comme attribut

L'équipement presque oublié

L'équipement comme spectre

Du sceptre au spectre

L'équipement en mouvement

Conclusion

Notes

Bibliographie

Introduction

Il est difficile d'imaginer à quel point « *disposer du bon équipement* » est un objet de préoccupation pour les chercheurs. La philosophie des sciences et l'enseignement des sciences nous ont tellement accoutumés à l'importance des concepts et du raisonnement, que la question de l'instrumentation passe souvent pour secondaire. Elle est reléguée aux ingénieurs et techniciens. Rares sont les philosophes des sciences qui s'y intéressent. En sociologie des sciences, il a fallu attendre les années 1970 pour voir se développer des travaux significatifs sur l'instrumentation scientifique et sur la *culture matérielle* des sciences, en physique des particules (Pickering, 1984 ; Trawick, 1988 ; Knorr-Cetina, 1999), en biologie (Latour et Woolgar, 1979 ; Lynch, 1985 ; Clarke et Fujimura, 1992) ou dans la recherche médicale (Vinck, 1992 ; Keating et Cambrosio, 2003). Les historiens des sciences prêtent aussi leur attention à l'instrumentation scientifique (Shapin et Schaffer, 1993 ; Galison, 1996). La production de connaissances passe par la mise en œuvre de dispositifs techniques. L'attention portée aux pratiques matérielles conduit, entre autres, à remettre en cause l'hégémonie du travail théorique. Les études sur les sciences montrent l'importance des négociations portant sur la construction des faits (Ravetz, 1972), l'instrumentation associée (Knorr-Cetina, 1981 ; Lynch, 1985) et l'interprétation des traces produites par ces « inscripteurs » (Latour et Woolgar, 1979 ; Lynch et Woolgar, 1988). Ces travaux, portant sur les pratiques et les instruments scientifiques, ont conduit à *une analyse située* du travail scientifique qui suppose de *rendre compte de l'écologie des conditions de production des connaissances*.

Le présent article est une contribution à *l'analyse des dynamiques qui animent l'instrumentation dans les sciences et la recherche technologique*. Il porte son attention sur le problème de l'équipement auquel les chercheurs sont constamment confrontés. Il s'agit ici de rendre compte de la façon dont des acteurs de la recherche sont aux prises avec des problèmes d'équipement.

Ethnographie de laboratoires dans le domaine des micro et nanotechnologies

Le terrain d'enquête est celui de laboratoires de recherche appelés à se regrouper, pour constituer un pôle scientifique et technologique dans le domaine de la micro et nanotechnologie. Les laboratoires observés relèvent d'institutions universitaires, du CNRS et d'un organisme de recherche gouvernementale. Un laboratoire est une unité mixte (CNRS, école d'ingénieurs) qui regroupe plus de 100 enseignants-chercheurs, techniciens et doctorants. Un autre est une unité mixte (CNRS, université) d'une quarantaine de personnes. Les quatre autres laboratoires relèvent d'un organisme de recherche gouvernementale ; trois d'entre eux sont attachés à la recherche technologique et comprennent quelques dizaines de chercheurs, ingénieurs et techniciens ; le quatrième appartient à la direction de la recherche fondamentale et comprend une centaine de chercheurs et techniciens.

Dans le domaine de la micro et nanotechnologie, *la question de l'instrumentation scientifique* est dite cruciale dans la mesure où les phénomènes à étudier sont si infimes (à l'échelle micro ou nanométrique) qu'ils ne sont accessibles que via des instruments généralement lourds, coûteux et sophistiqués. Ces instruments sont nécessaires pour fabriquer et manipuler les objets étudiés, pour produire les phénomènes, pour les observer et les visualiser, pour les modéliser et les simuler, mais aussi pour les caractériser. Une analyse de la *culture matérielle* est, en soi, un chapitre important de l'enquête (Fogelberg et Glimell, 2003) sur les nanosciences.

L'enquête repose sur un travail d'observation directe et d'entretiens avec les acteurs, sur une période de deux ans. Sept chercheurs [1] sont engagés dans cette enquête. Les comptes-rendus d'observations et d'entretiens sont échangés et discutés au niveau de notre collectif de recherche. Le travail est de nature ethnographique dans la mesure où il s'agit de décrire une culture et des pratiques observables localement (Vinck, 1999). Nous fréquentons ces laboratoires en participant à leurs activités et aux événements qui s'y déroulent : réunions, situations de travail et échanges de couloir. Nos observations font l'objet de

restitutions régulières des laboratoires observés, où nous exprimons ce que nous pensons avoir compris de leur vie et fonctionnement, nos étonnements ainsi qu'une série de questions susceptibles d'engager des discussions. Nos observations ne sont pas dès lors sans conséquence sur la dynamique de ces laboratoires.

L'approche retenue consiste à rendre compte des processus à l'œuvre dont il s'agit de produire des descriptions circonstanciées. L'activité de recherche s'analyse ici comme une « *action située et distribuée* ». Les données permettent de documenter le travail d'exploration et de construction, par les acteurs, de l'organisation de leur activité de recherche, ainsi que les questions qu'ils se posent sur les modalités pratiques et sur le sens de ce qui se construit à travers cette aventure collective. Le concept que nous entendons interroger dans cet article est celui d'équipement. Dans la première partie du texte, nous exposons une série de situations observées sur le terrain ; dans la seconde partie, nous déclinons notre construction du concept d'équipement.

Le souci du gros équipement

Situation n° 1 : l'assemblée générale d'un département de recherche technologique

Une fois par an, les chercheurs, ingénieurs et techniciens du département d'ingénierie des systèmes sont réunis dans un amphithéâtre. En cette matinée de janvier, 160 personnes sont présentes. Les « chefs » du département et des six laboratoires y dressent un bilan de l'année écoulée (sécurité, qualité, publications et brevets, faits marquants), ainsi que les orientations, défis ou objectifs pour les années à venir (budget et investissement, nouvelle organisation du travail). Le chef de département traite des *questions d'équipements* : rationalisation des moyens de réalisation des microsystèmes sur une ligne autonome, évolution de la ligne de fabrication en 200 mm (réalisation de microsystèmes sur des plaques de silicium de 200 mm de diamètre) et regroupement des moyens de caractérisation. Les participants sont particulièrement attentifs lorsqu'il s'agit de l'équipement.

Le responsable de la gestion de la « *plateforme technologique* » et des nombreux instruments utilisés par les laboratoires du département, présente son organigramme, la création d'un service d'*interface* entre les laboratoires et la plateforme, l'affectation des salles blanches (laboratoire dont l'air est filtré de ses

poussières), les budgets consacrés au *renouvellement des équipements* et aux *investissements* dans de nouvelles machines. Il affiche l'*évolution* vers les nouveaux standards industriels de la microélectronique et l'abandon du 100 mm habituellement utilisé dans la Recherche & Développement (R&D) sur les microsystèmes. Il dresse aussi un bilan de l'activité, les performances de la plateforme et l'amélioration de la *disponibilité* de l'équipement.

Chacun des six chefs de laboratoire dresse alors le bilan de l'activité qui le concerne, les projets en cours et à venir ainsi que les nouveaux défis et objectifs. Tous parlent des équipements dont ils disposent, ceux sur lesquels ils comptent ou ceux « *qui posent problème* ». Après chaque présentation, un membre du même laboratoire présente les points positifs, négatifs et les questions soulevées par le personnel. A ce niveau également, *l'équipement est un sujet récurrent de satisfaction, de plaintes et de questions*. Du côté de la satisfaction, les arguments portent sur la mise en place de nouveaux moyens techniques permettant d'assurer la continuité des projets de recherche et le fait d'avoir potentiellement accès à de nombreux et divers équipements. Du côté des problèmes soulevés par le personnel, beaucoup concernent l'équipement :

- ▶ Difficulté d'accéder aux équipements une fois qu'ils sont gérés par la plateforme technologique.
- ▶ Difficultés liées au fait de ne plus pouvoir réaliser soi-même les « *manips* » : perte de compétence pour les techniciens des laboratoires et mise en position de devoir « *regarder par-dessus l'épaule des techniciens de la plateforme* ».
- ▶ Doute quant à la plausibilité du développement des compétences techniques au niveau de la plateforme où ses techniciens deviennent des exécutants sur des étapes, sans vision d'ensemble sur les projets.
- ▶ Caractère vieillissant du parc d'équipements pour la recherche sur les microsystèmes et problèmes de maintenance ; des machines sont arrêtées pour de longues périodes ce qui bloque les projets.
- ▶ Equipement non vérifié en fonctionnement et maintenance discutable.
- ▶ Communication difficile avec les techniciens de la plateforme ; excès de rationalisation de l'interface.

Le débat porte sur les évolutions et remplacements d'équipements prévus en ce qui concerne les microsystèmes (dont les exigences sont différentes de la microélectronique). Les personnels se demandent comment continuer à être innovants sans « *mettre la main à la pâte* » (« faire faire » la réalisation technologique et ne conserver que le travail de conception et le suivi de la réalisation).

L'équipement est manifestement le *sujet de préoccupation majeur*. Il est bien plus important que les questions de budget, de sécurité, d'emploi, de productivité, de

publications... L'attention des participants se réfère à l'équipement et à ce qui l'entoure : accès et disponibilité effective, état de fonctionnement, compétences associées, organisation mise en place et rationalisation des procédures qui médiatisent l'accès à l'équipement, évolutions du parc en cours et à venir. Les participants, par leurs interventions, *font de l'équipement un élément central, voire déterminant*. Les acteurs s'expriment comme si la technique était déterminante. *L'équipement cristallise de nombreuses problématiques* qui s'entremêlent : la transformation de l'activité de recherche et le sens du travail, l'évolution des missions de l'organisme, la conception de l'organisation du travail en recherche, les compétences et le rapport au travail, les orientations thématiques. Les questions que se posent les participants concernent l'évolution d'ensemble de l'activité de R&D. Nous retrouvons cette même préoccupation dans les autres laboratoires observés.

Situation n° 2 : le déménagement des laboratoires et des instruments

Discussions au sein d'un des laboratoires appelés à déménager vers le nouveau bâtiment. La préparation du transfert des instruments, dont certains sont complexes et délicats à déplacer, met en évidence plusieurs problématiques liées aux questions d'équipement.

L'accès aux instruments est aussi une préoccupation majeure pour les enseignants-chercheurs. Les instruments dont ils ont besoin sont physiquement éloignés et accessibles pour la recherche seulement dans les plages horaires non réservées aux étudiants. Ils souffrent de la séparation entre le laboratoire, vidé de ses instruments, et la plateforme technologique, dont la gestion leur échappe. Les difficultés d'accès aux instruments sont au cœur de fortes tensions. Elle explique le désinvestissement de certains par rapport aux activités de recherche. On découvre alors que *le chercheur, sans ses équipements, se vit comme diminué, handicapé, voir incapable de maintenir son identité de chercheur*. Dans ce contexte, la perspective du déménagement et du rapprochement entre les chercheurs et leurs instruments suscite de l'enthousiasme. Ils recommencent à imaginer des projets de recherche. *L'équipement est un symbole de reconnaissance* par les collègues et *un support à la construction identitaire*.

L'équipement n'est pas que symbolique ; il renvoie aussi aux conditions concrètes de travail. Il est *l'adjuvant* qui donne au chercheur sa puissance créative. L'enjeu est d'avoir accès à *un équipement bien ajusté au travail du laboratoire*. Aussi, le déménagement apparaît comme l'occasion d'une projection dans le futur, une sorte

de *renaissance qui se rêve en termes d'équipement*. Le rêve est de mieux articuler « recherche de base » et « recherche technologique », mais ce rapprochement entre équipes de chercheurs aux « *cultures différentes* » et la constitution de plateformes technologiques partagées (Peerbaye, 2004 ; Hackett *et al*, 2004) ne vont toutefois pas de soi. Les différents groupes rêvent d'équipements différents. L'un des acteurs a choisi un standard qui doit faciliter le transfert vers l'industrie. L'inconvénient est que les instruments sont lourds et coûteux et leur utilisation implique une organisation rationalisée, planifiée et contrôlée. Ce choix pose problème à certains chercheurs qui préfèrent travailler sur de petits échantillons. Le gros équipement qui doit rapprocher de l'industrie creuse, du même coup, le fossé par rapport à la recherche fondamentale. Des chercheurs se dirigent alors vers *une voie technologique alternative et contournent la plateforme* et son lot de contraintes ; ils se dotent de leur propre équipement, non partagé ; ils rachètent de vieilles machines pour travailler sur des machines plus souples en recherche exploratoire. Ils s'efforcent d'*avoir leur propre équipement, ajusté à leurs besoins*, ce qui entre en contradiction avec le projet de plateformes, de mise en commun des instruments et d'optimisation de l'usage par plusieurs partenaires.

Groupe de travail sur le déménagement : *le déménagement est un travail de déconstruction et de mise à plat de l'équipement*. La rédaction d'un cahier des charges destiné au déménageur professionnel conduit chercheurs et techniciens à répertorier, lister et caractériser les instruments : encombrement, fragilité, dépendance fonctionnelle par rapport aux réseaux de distribution des fluides (énergie, gaz...), interférences possibles (champs magnétique) et interdépendances entre instruments, personnes compétentes et thématiques de recherche. L'incertitude sur les finances du déménagement conduit aussi à s'interroger sur les coûts et sur la pertinence des instruments. La *déconstruction de l'équipement* passe alors par une interrogation sur la vétusté, l'usage et l'utilité effective ainsi que sur l'opportunité de renouveler le parc d'instruments. Certains, peu utilisés ou presque obsolètes, pourraient être abandonnés. D'autres seront achetés. « *Qu'est-ce qu'on garde, qu'est-ce qu'on jette ?* », demande une chercheuse. Chercheurs et techniciens revisitent leurs projets pour *dessiner une nouvelle culture matérielle*. La perspective du déménagement les place *en position d'interroger l'équipement, de le rendre fluide, négociable, objet de rêves et de projections*. L'équipement, c'est une évidence pour nos acteurs, est *déterminant*.

Se dessinent alors *des trajectoires d'équipement divergentes* selon les laboratoires. L'un d'eux prépare le déménagement de microscopes sophistiqués ; tous ses microscopes vont bouger, sauf un... Il est installé dans un bâtiment construit spécialement pour lui. *Les instruments prennent parfois racine* et leur transplantation ne va pas de soi. Pour les autres microscopes, les chercheurs se

soucient de la nouvelle implantation ; ils scrutent les plans du bâtiment en cours de construction et vont, casque sur la tête, visiter le chantier. Ils analysent les emplacements possibles et négocient la localisation « *des équipements qui sont hypersensibles* » (aux vibrations de sol, aux vibrations phoniques et aux champs électromagnétiques), donc loin des ascenseurs et des transformateurs. Ils obtiennent de faire refaire des dalles en béton et la climatisation (pour qu'elle soit plus discrète). *L'équipement est exigeant*, disent les chercheurs.

D'autres instruments entrent dans une troisième trajectoire : *l'implantation transitoire*. Tel est le cas d'un nouveau microscope, qui permet une manipulation des atomes et qui ouvre la voie vers les nanoobjets, obtenu après deux ans de discussions et destiné à la future plateforme, mais dont les chercheurs ne veulent pas attendre le déménagement pour commencer à s'en servir. Ce microscope « *est le numéro 5 mondial... donc on a envie de sortir des résultats dessus rapidement* ». Son installation provisoire représente un surcoût, mais ce n'est « *pas grand-chose par rapport au gain de temps... parce qu'on va pouvoir se former dessus.* » « *On n'aura pas ses performances top... mais pouvoir commencer à travailler* ». Appareil de dernière génération, premier de ce genre qui arrive en France, il permet d'accéder à l'holographie électronique. Sa maîtrise rapide semble d'autant plus importante que la compétition scientifique mondiale est rude. « *Pour une fois qu'on en a un... c'est intéressant de pouvoir sortir les premiers résultats* ». Cet équipement est aussi important dans la course aux financements : « *on va pouvoir développer des dossiers plus performants* », construire des réponses à des appels à proposition de recherche plus attractifs que ceux des laboratoires concurrents (*course à l'équipement*). Déjà, les chercheurs des autres labs « *se battent là devant mon bureau pour être formés* » au nouveau microscope.

Situation n° 3 : instrument hybride et utilisation non standard

L'instrument, nu, ne convient pas ; pour être ajusté à l'action, il suppose un *travail d'équipement*.

Ainsi, dans un laboratoire, les instruments sont reconstruits par les chercheurs, pour en faire des hybrides, intermédiaires entre la recherche et l'industrie. Sur des équipements de fabrication industrielle, en microélectronique, ils greffent des détecteurs et des instruments de caractérisation des produits fabriqués. Ils travaillent sur des équipements industriels de dernière génération pour faciliter le transfert vers l'industrie ; équipés d'une instrumentation propre aux chercheurs, ils tentent de comprendre ce qui se passe, au « *niveau fondamental* », sur le

processus industriel. Cette hybridation permet de développer une « *approche recherche sur des équipements industriels* ». L'équipement est ici un objet-frontière (Star et Griesemer, 1989), où se joue la rencontre de la recherche fondamentale et appliquée et les préoccupations des équipementiers et des fabricants de circuits intégrés. La réalisation de cet équipement hybride est l'élément central et fondateur (Hubert, 2005) du laboratoire, lui-même hybride, au sein d'un réseau de partenaires hétérogènes.

Dans un autre laboratoire, les chercheurs inventent des « modes spéciaux », qu'ils installent sur des microscopes non prévus pour cet usage. Ce genre d'invention passe par *une réflexion sur les limites de l'équipement*, repensé, dérégulé et réglé autrement. L'équipement s'ajuste aux projets des chercheurs au cours d'un contact prolongé avec l'instrument et d'analyses des images produites par ces « microscopes arrangés » ; il suppose aussi le développement de codes de calcul. L'instrument ne s'ajuste aux chercheurs et à leurs projets (conception de matériaux plus petits) que parce qu'il est lui-même *équipé d'autres artefacts* qui médiatisent l'accès aux phénomènes produits. L'instrument seul est impuissant. Chercheurs et techniciens *travaillent l'équipement de l'instrument pour qu'il devienne, enfin, un équipement du collectif de recherche*. Adèle Clarke et Joan Fujimura (1992) avaient déjà montré que les outils du chercheur sont *élaborés de façon situationnelle*, c'est-à-dire co-élaborés interactivement en fonction de circonstances locales. Ils sont occasionnels (Knorr-Cetina, 1981 ; Pickering, 1984 ; Fujimura, 1987), c'est-à-dire qu'ils dépendent fortement des matériaux, instruments et compétences que les chercheurs ont sous la main, mais aussi des projets et des partenariats au sein desquels ils s'inscrivent.

Ces situations (hybridation d'instruments, instruments arrangés) révèlent que les instruments sont susceptibles de plusieurs descriptions, interprétations et utilisations. Il ne suffit pas de disposer de l'instrument. Souvent, les chercheurs ne savent d'avance ni quel aspect d'un instrument est important ni ce qu'ils en feront réellement. Il convient alors de se pencher sur le travail d'équipement qui fait passer l'instrument d'*artefact à équipement*.

Le gros souci du petit équipement

Un *travail d'équipement entoure les instruments* pour qu'ils passent d'artefacts encombrants à des équipements de l'action : inscription dans l'infrastructure immobilière, équipement de l'instrument, reconstructions. Le souci de l'équipement

est loin de se réduire à celui du choix, de la conception et de l'investissement dans un parc de machine. Il porte sur le détail, voir sur le « petit équipement ».

Situation n° 4 : l'équipement de la propreté en salle blanche

Réunion de laboratoire : 25 personnes (techniciens et chercheurs) sont présentes. Le chef de laboratoire aborde le second point à l'ordre du jour, la mise en œuvre par l'organisation d'un audit qualité au niveau de la salle blanche, y compris au niveau du sas d'entrée. Il précise que c'est le même genre d'audit qui se pratique dans l'industrie microélectronique. L'idée est de « *voir s'il n'y a pas de dérive comportementale* ». Une technicienne demande si des dégradations ont été constatées et qui justifieraient la réalisation d'un tel audit. Il semblerait que non. Par contre, explique le chef de laboratoire, « *tout le monde ne met pas le masque correctement, tout le monde ne sait pas obligatoirement s'habiller correctement, tout le monde ne range pas sa blouse correctement...* »

Pour travailler en salle blanche, le personnel s'équipe d'une combinaison (survêtement) en une seule pièce — couvrant le corps du bas des jambes jusqu'à la tête, avec capuchon —, des chaussons (appelés « surchausses ») et des bottes de salle blanche par-dessus les surchausses pour avoir un double emballage des pieds, un masque — genre masque de chirurgien — et des gants. En salle blanche, *l'équipement standard* a pour fonction de limiter l'introduction de poussière par les individus. Dans cet esprit, le maquillage ou le fait de fumer sont strictement interdits. Dans certaines salles blanches, des vêtements de couleurs différentes — blanc, bleu et vert — correspondent à des degrés de propreté plus ou moins stricts selon la tolérance des instruments vis-à-vis de la poussière. Dans certains cas, le personnel porte, en plus de l'équipement standard, un *équipement de protection individuel* — pour se protéger des projections de produits chimiques, par exemple —, avec blouse, gants et lunettes de sécurité.

L'observation de terrain révèle aussi que le port de l'équipement standard est variable selon les lieux et les individus : certains portent le masque sur le nez, d'autres sous le nez, d'autres sous le menton. Le chef de laboratoire informe donc de la mise en place d'un audit pour vérifier, deux fois par jour, la conformité des comportements vis-à-vis des règles du concept de propreté. Les personnes qui seraient prises plusieurs fois en défaut devraient suivre à nouveau la formation au « clean-concept ». Les auditeurs observeront comment les gens s'habillent dans le sas. « *Ils vont regarder si vous décontaminez les équipements pour rentrer en salle blanche, tout le protocole d'habillement, si personne ne laisse un truc par terre,*

comment on met les chaussons, les gants, à quel moment les enlever, etc. ». Il explique également que les auditeurs vérifieront « si ces dames mettent du maquillage ou pas », si le masque est mis correctement sur le nez, comment les gens rangent leur blouse, comment ils la boutonnent et remontent la fermeture éclair.

La façon dont s'équipe le personnel sera passée au crible. Les détails de cet équipement comptent pour l'organisation qui instaure ainsi une régulation de contrôle (Reynaud, 1989) portant spécifiquement sur *l'équipement de la personne*. Cette régulation passe par un concept de propreté — défini hors de l'organisation, au niveau de standards de bonnes pratiques dans le secteur de la microélectronique —, l'énonciation de règles et de procédures, la mise en place de dispositifs (sas, conditionnement de l'air...) et d'artefacts (gants, combinaison...) ainsi qu'une formation du personnel. De son côté, le personnel ne se conforme pas nécessairement aux prescriptions de l'organisation ; il développe sa propre évaluation de ce qui est important et de ce qui l'est moins, du bon compromis entre exigences du travail — éviter la poussière sur les micro-objets fabriqués et manipulés — et conditions de travail — buée pour ceux qui portent des lunettes, inconfort du masque durant de longues journées de travail. Le personnel se constitue ses propres points de repère et règles de bonnes pratiques, en particulier à propos de la nécessité de porter ou pas le masque. Il s'agit ici d'une forme de régulation autonome, laquelle est aussi une façon de marquer sa distance et le refus de se soumettre purement et simplement à l'organisation. Constatant cette insoumission, l'organisation tente de renforcer la régulation de contrôle en ajoutant des audits quotidiens. L'équipement de la personne est au cœur de ce conflit de régulation.

Une technicienne réagit en disant qu' « *ils pourraient foutre une caméra, là en face, comme ça on ne verra pas quand est-ce qu'on est machiné. [observé, audité]* ». Invitant à pousser encore plus loin la régulation de contrôle, elle en dénonce la surenchère. Elle identifie le nœud problématique centré sur le contrôle des individus, passant par le contrôle de leurs manières de s'équiper, de s'habiller...

Le personnel du laboratoire, sans jamais contester les règles de propreté — elles font manifestement partie d'un consensus partagé — réagit au fait que l'audit porte sur le comportement des individus et pas sur d'autres sources de poussière, par exemple : le matériel bureautique. Le personnel déplace ainsi l'attention d'un équipement à un autre. Il déplore que les responsables de salle blanche ne soient pas conscients des véritables sources de pollution. « *S'ils n'ont pas cette conscience-là, ils n'ont pas l'esprit bien... clean-concept !* », « *Quand tu vois tout ce qui traîne en salle !* » dit un membre du labo. Une autre personne soulève le cas des « cahiers de lot », qu'ils sont contraints de rédiger — autre prescription de

l'organisation qui n'est pas toujours acceptée. Cette rédaction est réalisée hors de la salle blanche [2] ; les cahiers de lots y sont ensuite introduits apparemment sans autant de contrôle, au dire des participants, que le port du masque par les individus. Ce cahier de lots, « *on le met avec n'importe quoi, ou n'importe comment. Ça, ils n'en ont rien à foutre.* ». Ce cahier a le droit de sortir, puis de rentrer comme il veut. « *Tu fous un coup d'eau bénite en rentrant ? Même pas ! Tu n'as même pas besoin de faire un signe de croix, il est bon, il est propre, lui, parce qu'il s'appelle « cahier de lots ».* Et nous, on est technicien, il faut qu'on se mette le truc sur le nez parce que sinon, on n'a pas droit à la bénédiction. Non mais attends ! » (cf. **extrait sonore**, MP3, 317 Ko). Pourtant, « *les cahiers de lots ça se met bien à côté des manips !* », mais « *ils ne regardent que nos tenues. Et le reste...* ». Les participants dénoncent la « foutaise » de l'attention exclusivement portée sur le comportement et l'équipement des individus alors que d'autres sources de pollution sont connues et autrement problématiques : cahiers de lots, gestion de l'air, passages « gris » entre salles blanches, bureautique, bouteilles de chimie qui traînent, etc. Les personnes déplorent les contraintes supplémentaires qui pèsent sur le personnel, laissant impunies les fautes de l'organisation.

Le chef de laboratoire, entre les injonctions et messages de l'organisation qu'il est chargé de transmettre et la réaction de ses troupes devient un médiateur, contribuant au développement, par itérations successives, d'une régulation conjointe portant sur l'équipement de la propreté.

Situation n° 5 : l'équipement du projet

La problématique de l'équipement concerne aussi de petits équipements comme les supports et dispositifs de la conduite de projet, objets de préoccupations de la part des acteurs. L'équipement des projets est autant affaire d'invention individuelle que de prescription de la part de l'organisation. Il y a co-construction de ce genre d'équipement par retour d'expérience, par analyse et institutionnalisation des meilleures pratiques observées sur le terrain, par prescription de la part de services spécialisés dans la rationalisation du travail, par importation de pratiques observées dans les entreprises ou dans d'autres laboratoires, mais aussi par appropriation, adaptation, détournement et création de la part des chercheurs et techniciens. L'équipement du projet résulte d'un arrangement entre les équipements proposés ou imposés par l'organisation et les pratiques locales des acteurs.

Parfois, les chercheurs découvrent de nouvelles façons d'équiper les projets, parce que leur commanditaire américain impose ses propres façons de travailler. L'équipement du projet résulte alors d'une construction conjointe avec les

partenaires du projet. Ainsi, dans un grand projet, le commanditaire et les chercheurs ont mis en place divers dispositifs et supports : 1/ *Une réunion hebdomadaire*, pour faire le bilan, suivre l'avancement du projet et discuter des choix techniques, des résultats et des problèmes, ainsi que de la planification. « *Ça n'est pas fréquent que le client s'implique de façon si forte* ». Les réunions téléphoniques, en anglais, durent plusieurs heures. 2/ Les participants disposent sur écran d'ordinateur de plusieurs *documents de travail* : planning prévisionnel, résultats de la semaine et une visualisation des opérations depuis le début du projet (près de 2000 en 3 ans). 3/ Les décisions prises sont enregistrées dans des documents qui forment « *la base qualité* » du projet : « *on a une foultitude de documents* » 4/ Les deux partenaires ont aussi mis en place *un dossier informatique commun*, hébergé chez le commanditaire, alimenté par les rapports et compte-rendu d'information.

Au sein de l'organisme de recherche, l'équipe a construit des équipements complémentaires : 1/ *Un site informatique propre au projet et interne* à l'organisation, accessible à tout membre de l'organisation. 2/ *Une réunion journalière interne*, pour faire le point : « *tout le monde sait où on en est et on définit qui va faire quoi, qui va suivre quoi pendant la journée.* » 3/ Cette réunion journalière est équipée de *supports ad hoc*, notamment une planification à trois semaines. Les chercheurs suivent leur productivité et détectent les difficultés. 4/ *Une réunion d'information*, tous les deux mois, destinée au personnel des plateformes technologiques qui intervient de façon ponctuelle dans les projets. L'équipe du projet y présente l'avancement du travail et les résultats obtenus et donne ainsi un retour sur le travail réalisé.

Lorsqu'il s'agit de transférer les résultats de la recherche vers la production industrielle, un nouvel acteur entre en scène. L'équipement du projet est étendu au nouvel acteur qui y prélève de l'information, introduit de nouvelles données et documents, mais aussi exprime de nouvelles exigences en termes d'équipement du projet. « *Ça a demandé encore plus de rapports et de paperasserie parce qu'il y a une tâche transfert qui a été identifiée, et cette personne a déjà vécu pas mal de transferts, donc un gros background et, en termes de documentation, cela nécessitait qu'on suive leur qualité chez eux, qu'on suive leur document qualité.* »
Nouvel acteur, nouvelles prescriptions : les acteurs du projet revisitent l'équipement du projet et mettent en place un ensemble de fiches sur lequel ils documentent les opérations. Ils apprennent à expliciter encore plus les procédures de travail afin que le partenaire soit capable de les reproduire avec les mêmes résultats, tout en changeant d'échelle : points de repère importants, contrôles associés, raisons des choix technologiques, équipements à même de réaliser le produit voulu, criticité des étapes.

Les chercheurs apprennent beaucoup, disent-ils, au contact du commanditaire. Toutefois, les exigences de l'industriel et l'équipement qu'il impose ne sont pas nécessairement pertinents pour les autres projets de recherche. « *On se trouve avec un monument de documentation* », mais « *ce qu'on apprend surtout, c'est la démarche.* » « *Maintenant, il faut qu'on se l'approprié* ». Ce cas pointe du doigt le jeu permanent de construction, déconstruction, déplacement, négociation, invention et mise en place d'un équipement pour la conduite des projets. Il est le fruit des propositions et exigences d'acteurs variés et changeants d'un projet à l'autre et au cours d'un même projet. *L'équipement semble ne jamais pouvoir être stabilisé* au-delà d'une phase dans un projet. Le projet terminé, un ingénieur de la plateforme technologique anime *l'examen critique de l'équipement* de ce projet si dynamisant, afin de voir ce qu'il convient d'en conserver, de transposer, voire de généraliser aux autres projets. L'équipement qui était un attribut d'un projet singulier est transformé jusqu'à devenir un attribut de la plateforme technologique. « *J'ai essayé de l'adapter...* » : élaguer les paramètres industriels trop lourds, alléger la démarche, ajouter des critères propres à la recherche et « *mettre effectivement à notre sauce à nous.* ».

Cette reconstruction locale de l'équipement implique de nouveaux acteurs : service « qualité » (qui regarde comment l'insérer dans le système qualité), groupe de travail « méthode ». Il s'agit de *faire vivre l'équipement* et de l'expérimenter sur un nouveau projet. « *Ce sont des documents qu'il faut qu'on affine, aux besoins de tout le monde. [...] Il faut qu'on affine un peu tout ça, mais ça ne va pas être transféré de façon monolithique, ça va être diffusé doucement et quand on aura quelque chose de plus stable, de compris par tous, on en fera un document réel.* ». L'ingénieur tente de changer l'équipement habituel des projets : « *Je sais qu'il y a des transferts sur chiffonnette et que ça donne des résultats catastrophiques. Les gens n'arrivent pas à reproduire, les gens ne se comprennent pas. [...] sachant que d'un autre côté on a réussi à transférer un produit assez compliqué à un industriel et qu'il a de très bons résultats, on se dit qu'on peut peut-être...* »

L'équipement comme sceptre

Les situations examinées dans cet article montrent que *la notion d'équipement* est d'abord celle des acteurs. Lorsqu'il est question de l'équipement du laboratoire, les acteurs se réfèrent à sa *base matérielle* : parc d'instruments scientifiques et

ressources techniques de toutes sortes, y compris les locaux (chape de béton anti-vibrations, sas...), les circuits de distribution de fluide (gaz spéciaux, énergie, flux d'air conditionné et filtré), les systèmes de détection d'incidents et de l'intelligence incorporée au bâtiment. La notion d'équipement, tel qu'en font usage les acteurs, renvoie également à la *culture matérielle* du collectif de recherche : compétences permettant de faire bon usage des instruments, règles et savoir-faire.

La culture matérielle

Décrire la *culture matérielle* d'un collectif de recherche (laboratoire ou domaine) aide à comprendre les activités scientifiques et techniques. Les acteurs de la recherche considèrent souvent leurs instruments comme essentiels pour leur domaine et sa dynamique. Ils se qualifient volontiers en fonction de cette ressource identitaire et jugent leurs compères à la même aune. Dans les domaines des micro et nanotechnologies, les acteurs y accordent beaucoup d'attention tant l'accès aux objets d'étude (de taille micro ou nanométrique) en dépend (fabrication et manipulation des objets étudiés, visualisation et caractérisation). Leur domaine de recherche cesserait d'exister sans cette *culture matérielle* (Fogelberg et Glimell, 2003). Son progrès et le poids relatif des acteurs en dépendent. En sociologie et en histoire des sciences, plusieurs auteurs ont déjà démontré l'importance de la prise en compte de cette *culture matérielle* : Latour et Woolgar (1979), Pickering (1984), Latour (1987), Traweek (1988), Vinck (1992, 1999), Galison (1996), Knorr-Cetina (1999).

La *culture matérielle* dépasse largement le seul répertoire des instruments. Nous avons vu combien est importante, pour les acteurs, l'insertion de ces instruments dans des infrastructures appropriées et dans des collectifs dotés des compétences adéquates. Le cas d'équipements hybrides souligne bien ce problème au cœur de l'articulation entre deux mondes, l'un de chercheurs, l'autre d'industriels ; le premier étant un point de passage obligé pour accéder au phénomène et pour caractériser les produits. La *culture matérielle* dans le domaine des micro et nanotechnologies se caractérise par beaucoup d'enchevêtrements entre instruments et pratiques : des instruments combinent la manipulation et la visualisation tandis que des microscopes sont employés comme outils de fabrication. Ce domaine se caractérise par le développement rapide de nouvelles combinaisons d'instruments. Il n'est dès lors pas surprenant de voir les acteurs insister sur l'interdisciplinarité et sur l'articulation des compétences en recherche fondamentale et en développement technologique. Plus les acteurs se rapprochent de l'échelle nanométrique, plus leur équipement combine la fabrication, la caractérisation et la compréhension théorique.

De la même manière, les techniques de simulation, d'expérimentation et de caractérisation s'hybrident dans ces domaines. Les outils de simulation guident la conception, la sélection des phénomènes à tester, la fabrication des objets, mais aussi leur contrôle parce que leur taille empêche de voir les conséquences des expériences réalisées.

Au-delà des instruments physiques, les outils théoriques et conceptuels prennent aussi de l'importance. L'équipement des chercheurs dépend alors autant des infrastructures lourdes que des instruments « immatériels » : bagage conceptuel, modèles théoriques, méthodologie de simulation, méthodes d'optimisation, outils de calcul. Fondamentalistes ou industriels, dans ces domaines, les acteurs ont recours à des images ; ils les produisent pour accéder à ce qu'ils font et pour le rendre visible aux collègues, industriels et grand public. Cet équipement du travail et de la communication se retrouve largement dans les supports du travail de conviction et de démonstration (Rosental, 2003).

L'équipement comme attribut

L'équipement caractérise un collectif de recherche, une institution, voire un individu. Il est un attribut des acteurs et sa possession change leurs propriétés. L'équipement est de l'ordre du sceptre. Le laboratoire a une salle blanche, un microscope à effet tunnel, un équipement de lithogravure ou la licence d'un logiciel de conception en microélectronique. Le technicien a sa combinaison, ses gants et son masque sur le nez, ainsi qu'un bip en poche pour être appelé à tout instant si un problème se présente sur une machine. Le chef de projet a un tableur pour le suivi des lots. Le chercheur en visite à l'étranger a un jeu de dépliants à distribuer pour attirer des collègues ou des industriels. Dans tous ces cas, le sceptre est un artefact, un objet physique. Dans d'autres cas, l'équipement est plutôt graphique et symbolique. Ainsi, l'équipement d'un « *cahier de lots* » (qui spécifie ce qui doit être réalisé sur la plateforme technologique) est son numéro de code et les signatures qui le valident (visa des chefs de la plateforme et du service d'interface). L'équipement d'un projet est composé de ses supports documentaires, mais aussi des dispositifs de rendez-vous réguliers entre les acteurs. Il renvoie aux règles, normes et standards qui équipent l'organisation du travail. Quant à l'équipement des individus, il est fait des compétences incorporées et des habilitations leur permettant d'opérer sur des instruments. La liste des choses traitées comme équipement est *a priori* illimitée et profondément hétérogène.

L'équipement n'est pas une chose en soi. Il est, au contraire, toujours relatif à autre chose (le chercheur, l'organisation ou « le cahier de lots ») qui est au cœur de

l'action. L'équipement est annexe par rapport à ce qui compte : le progrès des connaissances, la reconnaissance internationale, l'identité sociale, la capacité d'intervention ou la robustesse des résultats. L'équipement est donc une entité (artefact, symbole, norme, compétence...) associée à une autre entité dont il contribue à transformer les propriétés. Il est annexe, mais fondamental.

L'équipement presque oublié

Si dans les situations que nous avons relatées l'équipement est très manifestement présent, il n'en est pas toujours ainsi. Dans bien des situations, l'équipement est oublié et négligé. Il fait partie de la base matérielle d'un laboratoire dont l'essentiel est la dynamique de recherche. Il fait partie des apprentissages passés et incorporés du technicien qui agit de façon « naturelle » avec ses instruments. Les acteurs oublient l'équipement lorsqu'il entre dans des routines et habitudes comme le fait de s'habiller d'une combinaison pour entrer en salle blanche, d'emporter son bip et son badge ou de trouver des machines de gravure et de caractérisation en salle blanche. Une partie de l'équipement disparaît ainsi de l'horizon de la conscience, au moins momentanément. Les acteurs semblent se satisfaire d'équipements définis et stabilisés par d'autres, au point de l'oublier, de ne plus y penser.

En réalité, cet équipement n'est jamais complètement oublié. Jean-Claude Kaufmann (2002) parle de réflexivité tapie dans les détails des gestes, des odeurs, de l'emplacement d'un objet ou de sa seule présence ou absence. Individus et collectifs « oublient » qu'ils sont équipés, mais cet équipement et ses détails sont toujours prêts à parler. Des situations créent une fenêtre de réflexivité : l'instrument qui fatigue en fin de journée (cas de certains microscopes), la combinaison au moment de l'enfiler, le « cahier de lot » sur lequel manque une signature, l'air de la salle blanche quand les alarmes de détection de sous-pression se déclenchent. Lorsqu'un instrument produit un résultat inhabituel, le chercheur retourne au mode opératoire. Lors d'un désaccord avec le partenaire industriel, le chercheur retourne au contrat dont il ne s'était guère préoccupé.

L'équipement comme spectre

Les situations examinées dans cet article aident à comprendre que, pour les acteurs, ces questions d'équipements sont importantes. Qu'il soit gros, coûteux et complexe

ou, au contraire, petit, ordinaire et banal, l'équipement retient l'attention et focalise une partie des préoccupations. Les acteurs en parlent et le négocient. Ils développent des stratégies et des projets d'équipements. Ils l'évaluent et le remettent en cause.

Du sceptre au spectre

L'équipement, parfois oublié, se rappelle à l'existence quand quelqu'un l'impose (le masque, une procédure qualité) ou quand il ne répond pas. La panne du conditionnement d'air (voir aussi l'incident rapporté par Fogelberg et Glimell (2003) d'une forte fumée dans un bâtiment proche d'une salle blanche) remet sur le devant de la scène des préoccupations autrement peu présentes à l'esprit. L'essentiel, oublié, redevient sujet de préoccupation quand l'équipement fait défaut, quand il change (la nouvelle version d'un logiciel) ou quand l'acteur change (le déménagement). La situation remobilise alors la conscience, la recherche et la négociation. D'attribut ou de chose allant de soi, il redevient question ou problème, objet de discussions et de préoccupations.

L'équipement est produit, mobilisé, transformé et rejeté par les acteurs. Il est objet de négociations, de constructions et de déconstructions. Les acteurs cherchent un équipement ; ils en rêvent, en parlent, en fabriquent, en expérimentent, puis en négocient les règles d'usage. Nous les voyons s'interroger sur « *l'équipement qui convient* ». Notre interrogation sur l'équipement est d'abord celle des acteurs en situation. Ce n'est pas le propre du sociologue de s'interroger sur l'équipement des acteurs ; la question est d'abord la leur.

Qu'ils produisent ou importent l'équipement, les acteurs s'en emparent pour l'adapter, s'y adapter ou le rejeter. L'équipement qui est engagé dans l'action est le fruit d'un travail, souvent collectif. *L'équipement n'est alors plus un attribut, mais un travail, un processus*. Nous observons des acteurs qui s'efforcent d'être à l'origine de leur propre équipement (microscope ou procédure de gestion de projet) et de contrôler l'équipement qu'on leur impose. Ils inventent des tactiques efficaces qui se cristallisent plus ou moins dans des choses qui, ensuite, orientent et cadrent leur action. « *L'individu construit lui-même, chaque jour, les instruments qui ensuite participeront à guider sa pensée et son action* » (Kaufmann, 2002). Le processus de production d'un équipement est aussi celui d'une externalisation de manières de faire et de leur mise en chose conduisant à stabiliser des manières de faire et d'être, pour soi et par rapport à autrui, ainsi que des dynamiques, des trajectoires et des positions. L'équipement est lié à l'anticipation de l'action (d'autrui notamment) et au positionnement relatif.

L'équipement en mouvement

L'équipement est rarement stabilisé. Parfois, les acteurs se demandent s'il n'y a pas trop d'équipements, trop de machines qui encombrant les salles blanches, trop de règles, trop d'équipements de protection individuelle. Ils en jettent ou, plutôt, les mettent provisoirement de côté (le masque sous le menton, un vieil instrument qui pourrait encore servir pour certaines expériences). L'équipement est remis en cause, en discussion, en jeu. Les acteurs en jouent et tentent de récupérer un espace d'autonomie. Il devient sujet de controverses soutenues entre pairs. Les controverses portent sur la manière de travailler et sur *l'équipement qui convient*. Dans les laboratoires et dans les plateformes technologiques, nous les voyons tenter de faire reculer les limites de l'action (l'usage non standard d'un microscope, l'hybridation d'équipements achetés sur le marché), de l'œuvre (pousser plus loin les limites d'un processus ou d'un concept technologique). Les controverses sont parfois très intenses, soutenues et durables ; nous le voyons à propos des choix de standards technologiques (100, 200 ou 300 mm). Ces controverses sur l'équipement tiennent les collectifs de travail au point de laisser penser qu'elles produisent l'équipe. La controverse sur l'équipement est un ingrédient du lien social dans le travail. Lors de l'assemblée générale, il manifeste l'intérêt des membres de l'organisation vis-à-vis des finalités de l'organisation tout en réaffirmant une autonomie d'action. Les discussions sur l'audit du port du masque au détriment d'un examen des autres sources de poussière manifestent également cette appartenance à l'organisation, à ses finalités, tout en marquant une distance à l'égard de la hiérarchie. « *L'équipement est et doit être négocié* » semblent vouloir dire les membres de l'organisation.

Exploré, expérimenté, rêvé, négocié, l'équipement bouge et se transforme tellement qu'il est difficile de dire ce qu'est l'équipement. Il n'est plus ni un sceptre ni un attribut. Il devient une chose difficile à saisir, évanescence : un spectre. Sur un même terrain, en peu d'années, de remises en cause en exploration et en controverses, les acteurs transforment cet équipement. Difficile pour l'observateur externe, de définir, à la place des acteurs, ce qu'est l'équipement. Objet de questionnement et de transformation de la part des acteurs, il est difficile de le fixer dans l'analyse. Il n'y a pas, d'un côté, une base matérielle stable, de l'autre, du social mouvant. L'un et l'autre sont en perpétuelle redéfinition, en même temps que sujets de stabilisations plus ou moins durables. L'équipement n'est pas donné, extérieur au jeu social. Il apparaît, au contraire, indéfinissable et controversé ; il envahit tout le social en tant que préoccupation des acteurs. Il n'est pas simplement un artefact ou une ressource à disposition des acteurs ; il est au cœur du jeu des

acteurs, des discussions et du « *travail d'organisation* » (de Terssac, 2002).

Pour les acteurs, l'équipement est au centre de leurs problématiques fonctionnelles et instrumentales concrètes et situées. L'équipement recherché par les acteurs semble être celui qui offre des aides pour l'action sous la forme d'échafaudage (scaffolding) c'est-à-dire de supports externes dans la réalisation de certaines actions. Il entre dans un travail de couplage entre l'acteur, individu ou collectif, et un environnement auquel il se familiarise, les deux contribuant à l'accomplissement de l'action. Dans ces laboratoires de recherche, comme nous l'avions déjà observé sur d'autres terrains comme les bureaux d'étude (Lécaille, 2003), là où la connaissance sur l'objet, les phénomènes et les procédures n'est pas encore stabilisée, le couplage est manifestement une préoccupation centrale.

Conclusion

L'étude empirique de l'équipement met en évidence les ressources hétérogènes impliquées dans le travail d'équipement : mobilisation d'acteurs, compétences de description, retour d'expérience, transformation de l'environnement physique, des compétences professionnelles et des identités. Ces ressources sont souvent négligées dans les descriptions stylisées concernant le rôle des instruments. Or, les acteurs observés ne les dissimulent en aucune façon. Elles sont même souvent objets de débat et de négociation. Tous ces éléments plaident pour affirmer que l'explication fonctionnelle n'est guère appropriée. Au contraire, le *travail d'équipement*, trop souvent négligé dans les études sur les sciences et les techniques, constitue une part importante de l'activité des acteurs : construction d'un équipement approprié, adhésion des collègues ou des partenaires aux pratiques de travail, reconnaissance du travail, etc. Le travail d'équipement relève de dynamiques interactionnelles de construction et de déconstruction, *in situ*, et donc d'une pragmatique et d'une ethnométhodologie étendue aux pratiques matérielles.

Notes



[1] Matthieu Hubert, Morgan Jouvenet, Christelle Plat-Girod, Pascale Trompette,

Nicolas Veyrat, Dominique Vinck et Gloria Zarama. Leur engagement sur le terrain résulte de la conjonction entre nos intérêts de recherche pour l'analyse des changements organisationnels et des pratiques scientifiques et d'une demande des responsables d'une des institutions à l'égard du rapprochement et de l'hybridation programmée de plusieurs laboratoires.

[2] Le papier utilisé en salle blanche est un papier spécial, qui a la particularité de ne pas produire de poussière. L'ethnographe, en salle blanche, doit lui-même s'équiper non seulement de combinaison, gants et masques comme le personnel observé, mais aussi du papier spécial pour salle blanche.

Bibliographie



CLARKE Adèle, Joan FUJIMURA, 1992, *The right tools for the job. At work in Twentieth-Century Life Sciences*, Princeton, Princeton University Press.

DE TERSSAC Gilbert, 2002, *De la vapeur au TGV. Essai sur le travail d'organisation*, Paris, PUF.

FOGELBERG Hans, Hans GLIMELL, 2003, *Bringing visibility to the invisible : towards a social understanding of nanotechnology*, Göteborg, Göteborg University.

FUJIMURA Joan, 1987, « Constructing 'Do-able' Problems in Cancer Research : Articulating Alignment », *Social Studies of Science* (17) : 257-293.

GALISON Peter, 1996, *How experiments end*, Chicago : University of Chicago Press.

HACKETT Edward J., David CONZ, John PARKER, Jonathon BASHFORD, Susan DELAY, 2004, Tokamaks and turbulence : research ensembles, policy and technoscientificwork, *Research Policy*, (33) : 747-767.

HUBERT Matthieu, 2005, *Couplage Recherche - Industrie : Analyse des mécanismes sociotechniques permettant une collaboration entre un laboratoire public et des partenaires industriels*, Master « Management stratégique et génie des organisations », Université P.Mendès-France, Grenoble.

KAUFMANN Jean-Claude, 2002, *Premier matin. Comment naît une histoire d'amour*, Paris, Nathan.

KEATING Peter, Alberto CAMBROSIO, 2003, *Biomedical platforms : realigning the normal and the pathological in late-twentieth-century medicine*, Cambridge, MA, MIT press.

KNORR-CETINA Karin, 1981, *The Manufacture of Knowledge. An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*, Oxford, Pergam Press.

KNORR-CETINA Karin, 1999, *Epistemic Cultures The cultures of knowledge societies*, Cambridge, Harvard University Press.

LATOUR Bruno, Steve WOOLGAR, 1979, *Laboratory life : the social construction of scientific facts*, Beverly Hills, Sage Publications.

LATOUR Bruno, 1987, *Science in action : how to follow scientists and engineers through society*, Cambridge, MA, Harvard University Press.

LECAILLE Pascal, 2003, *La trace habilitée. Une ethnographie des espaces de conception dans un bureau d'études de mécanique : l'échange et l'équipement des objets grapho-numériques, entre outils et acteurs de la conception*, Thèse de Génie Industriel, Grenoble, ENSGI (INPG-UPMF).

LYNCH Michael, 1985, *Art and Artifact in Laboratory Science. A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory*, London, Routledge & Kegan Paul.

LYNCH Michael , Steve WOOLGAR, 1988, *Representation in scientific practice*, Cambridge, MIT Press.

PEERBAYE Ashveen, 2004, *La construction de l'espace génomique en France : la place des dispositifs expérimentaux*, Thèse de doctorat en sociologie, ENS Cahan.

PICKERING Andrew, 1984, *Constructing quarks : a sociological history of particle physics*, Edinburgh, University Press.

RAVETZ Jérôme, 1972, *Scientific Knowledge and its Social Problems*, Oxford, Clarendon Press.

REYNAUD, Jean-Daniel. 1989, *Les règles du jeu. L'action collective et la régulation sociale*, Paris, Armand Colin.

ROSENTAL Claude, 2003, *La trame de l'évidence*, Paris, PUF.

SHAPIN Steve, Simon SCHAFFER, 1993, *Léviathan et la pompe à air. Hobbes et Boyle entre science et politique*, Paris, La Découverte.

STAR Susan Liegh, James GRIESEMER, 1989, « Institutionnal ecology, 'translations' and boundary objects : amateurs and professionals on Berkeley's museum of vertebrate zoology », *Social Studies of Science* (19) : 387-420.

TRAWEEK Sharon, 1988, *Beamtimes and Lifetimes. The World of High Energy Physicists*, Cambridge, MA : Harvard University Press.

VINCK Dominique, 1999, « Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales », *Revue Française de Sociologie* XI(2) : 385-414.

VINCK Dominique, 1992, *Du laboratoire aux réseaux. Le travail scientifique en mutation*, Luxembourg : Office des Publications Officielles des Communautés Européennes.