



Nano-INNOV

un plan pour les nanotechnologies

Les nanotechnologies représentent une opportunité exceptionnelle pour l'industrie française : elles sont susceptibles d'être à l'origine d'une véritable révolution industrielle que notre pays ne doit pas manquer. Matériaux innovants, biotechnologies, nanoélectronique, nombreuses sont les applications potentielles des nanosciences, domaine dans lequel la France est bien placée au niveau mondial.

Toutefois, si l'excellence de notre recherche nationale dans le domaine est réputée (5^{ème} rang mondial avec 3 526 publications en 2006, soit 5,6% des publications mondiales), notre capacité à transformer ces recherches en réussites industrielles, et donc en emplois et en croissance est faible (nous n'avons déposé par exemple que 290 brevets dans le domaine en 2005, soit moins de 2% des brevets mondiaux). La France est d'ailleurs classée avec le Royaume-Uni dans la catégorie « tours d'ivoire » par le cabinet « Lux Research ».

Pour remédier à cette faiblesse, Jean THERME, Alain COSTES et Dominique VERNAY ont proposé un plan d'investissement de grande ampleur visant notamment à créer des centres d'intégration technologique à l'image du pôle grenoblois autour des micro- et nano- technologies. Ces centres seraient installés à Grenoble, Saclay et Toulouse.

Le principe de la mise en œuvre de ce plan a été annoncé par le Président de la République à l'occasion des Assises européennes de l'innovation le 9 décembre 2008 :

« Je voudrais profiter de ces assises pour vous annoncer que la France va mettre en place une stratégie d'innovation dans les nanotechnologies, appuyée sur des clusters à Saclay, au sud de Paris, à Grenoble et à Toulouse. [...] Nous allons créer, à Saclay, des centres d'intégration de nanotechnologies, où la recherche fondamentale travaillera avec les entreprises, pour mettre au point des technologies, déposer des brevets, créer des produits. »

Dès 2009 et dans le cadre du plan de relance, 70 M€ seront consacrés à ce plan. Par ailleurs, conformément à sa lettre de mission, le nouvel Administrateur général du Commissariat à l'énergie atomique devra renforcer la recherche en nanotechnologies, notamment dans le cadre du nouveau contrat d'objectifs Etat-CEA :

« Le CEA attachera une priorité particulière au champ des nanotechnologies en s'affirmant comme l'acteur majeur du plan national en la matière, notamment autour des pôles de Grenoble et de Saclay. Vous mobiliserez les moyens de l'organisme sur ce thème, avec un volant important de redéploiement interne vers cette priorité définie par le Président de la République. »

L'organisation mise en place le 5 mai 2009 par Valérie PECRESSE rappelée ci-après permettra de donner à l'industrie française les moyens de réussir le virage des nanotechnologies sans altérer la capacité des scientifiques à comprendre les propriétés les plus intimes de la matière et à en déduire les applications possibles, à l'image de la magnétorésistance géante découverte par Albert FERT et mise en œuvre dans la microélectronique.

Mise en œuvre du plan de relance

Les 70 M€ du plan de relance consacrés au plan « Nanotechnologies Nano-INNOV » seront répartis comme suit :

- 46 M€ pour la construction d'un centre d'intégration sur le site de Saclay sous la maîtrise d'ouvrage du CEA ;
- 7 M€ pour des financements complémentaires d'équipements technologiques dans le cadre du programme RTB (réseau technologique de base), confié à l'Agence nationale de la recherche ;
- 17 M€ pour des appels à projets technologiques ajoutés à la programmation 2009 de l'ANR.

Ces moyens s'ajoutent :

- aux 35 M€ d'appels à projets et aux 12 M€ d'équipements de recherche déjà prévus dans le budget 2009 de l'ANR ;
- à l'opération campus, en particulier sur Grenoble, Saclay et Toulouse ;
- aux investissements des collectivités locales et aux contrats de recherche partenariale à venir.

La construction du centre d'intégration de Saclay sera accélérée du fait de la réutilisation du concept et de l'architecture du bâtiment « Digiteo labs » pour les nouveaux bâtiments. Les travaux commenceront avant la fin de l'année 2009.

Organisation

Pour assurer une allocation efficace et pertinente des crédits du plan de relance, **un comité de pilotage du plan nanotechnologies – Nano-INNOV** est installé par Valérie PECRESSE. Composé de trois collèges d'égale représentation (nanosciences, nanotechnologies et industriels), il est chargé :

- de la **rédaction des appels à projets de l'Agence nationale de la recherche** financés par le plan de relance dans le domaine des nanotechnologies ; l'ANR est pour sa part chargée de la mise en œuvre de ces appels à projets ;
- de la **répartition des financements d'équipements** de recherche en nanosciences et nanotechnologies prévus dans le plan ;
- de la **coordination des travaux de recherche** technologique en nanotechnologies et de l'interface avec la communauté scientifique des nanosciences, notamment dans le cadre des centres d'intégration technologique, comme celui de Saclay ;
- de **proposer toute initiative nationale ou européenne** pour
 - *assurer une coordination de l'effort national de recherche dans ce domaine* (travaux des laboratoires, investissements, appels à projets...) **dans la durée**, prenant en compte les autres initiatives nationales, européennes et internationales aussi bien en nanotechnologies qu'en nanosciences ;
 - *renforcer le transfert de technologies* entre la recherche publique et l'industrie française et assurer une politique cohérente de la propriété intellectuelle des entités publiques en la matière ;
 - *améliorer la connaissance du grand public* sur les nanotechnologies, leurs utilisations et leur gouvernance, en particulier dans le cadre des travaux de la

commission nationale du débat public (CNDP) qui a été saisie le 24 février dernier par le Gouvernement ;

- *développer les formations nécessaires* à l'émergence d'une véritable filière industrielle française dans ce domaine ;
- *créer une coordination européenne* plus forte sur les nanotechnologies notamment dans la cadre d'un projet de communauté de la connaissance qui pourrait être présenté au comité directeur de l'Institut européen de technologies (IET).

Composition du comité de pilotage du plan nanotechnologies Nano-INNOV

- Collège des nanosciences
 - Alain Costes (CNRS)
 - Bruno Chaudret (Univ. Paul Sabatier, Toulouse)
 - Jean-Michel Lourtioz (CNRS-IEF)
 - Jean-Philippe Bourgoïn (CEA-DSM)
 - Vincent Croquette (CNRS-ENS)
 - Alain Fontaine (CNRS)
 - Michel Lannoo (Univ. Aix-Marseille)
 - Dominique Chandèsris (CNRS)

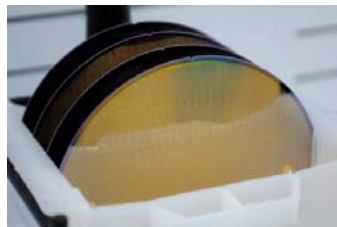
- Collège des nanotechnologies
 - Jean Therme (CEA)
 - Laurent Malier (CEA-LETI)
 - Riadh Cammoun (CEA-LIST)
 - Jean-Louis Sanchez (CNRS-LAAS)
 - Jean-Frédéric Clerc (CEA-DRT)
 - Pierre Guillon (CNRS-ST2I)
 - Francis Jutand (Institut Télécom)
 - Vincent Lafèche (INERIS)

- Collège des industriels
 - Dominique Vernay (Thalès et System@tic)
 - Gérard Matheron (ST)
 - Alain Coutrot (Safran/Astech)
 - Christian Collette (ARKEMA)
 - Hervé Senilloun (Eurotungstène)
 - Christine M'Rini (Biotech)
 - Jean-Marc Thomas (Airbus)
 - Denis Cohen-Tannoudji (Essilor)

et Agence nationale de la recherche : Robert PLANA



Enjeux de la recherche en nanotechnologies



Une véritable révolution industrielle

La vague des nanotechnologies est comparable aux précédentes révolutions technologiques. Les nanotechnologies sont au niveau de la matière ce qu'a été Internet au niveau de la connaissance. L'électricité, c'est-à-dire la manipulation contrôlée des électrons, constitue un autre précédent pertinent : l'électricité a diffusé partout et a donné naissance, avec les deux volets énergie électrique et technologies de l'information, à une nouvelle économie, un nouveau mode de vie.

Aujourd'hui, les propriétés exceptionnelles des nanomatériaux et les avantages indéniables apportés dans la conception et la fabrication de systèmes complexes par le contrôle de l'échelle nanométrique laissent présager une révolution industrielle qui ne fait que commencer : avec les nanotechnologies, tous les secteurs industriels dans la chaîne de la valeur (matériaux, composants, systèmes) vont pouvoir se reconfigurer, et de nouvelles activités apparaître.

Par ailleurs, les nanotechnologies permettent intrinsèquement d'économiser le nombre d'atomes utilisés, et ainsi de participer à une « dématérialisation » de l'économie. Cette dématérialisation est en effet une solution proposée par un groupe d'experts réunis par l'UNESCO afin de faire face à la crise écologique mondiale¹. Koïchiro Matsuura, directeur général de l'UNESCO, insiste sur l'importance de réduire la quantité de matière utilisée par l'homme pour sauvegarder l'humanité :

« Moins de matière : il va nous falloir «dématérialiser» l'économie et la croissance. Car peut-on arrêter la croissance ? Probablement pas. Que faire alors ? Il va nous falloir réduire la consommation de ressources naturelles et de matières premières dans chaque unité de production économique, qu'il s'agisse d'énergie, de métaux ou de minerais, d'eau ou de bois. Ce transfert de l'économie vers l'immatériel a déjà commencé, avec la révolution qui remplace les atomes par les bits, et qui est au principe de l'essor des nouvelles technologies et des sociétés du savoir. »

Les procédés de fabrication actuels utilisent des matériaux massifs présentant des propriétés continues, c'est-à-dire ne dépendant pas de la position de tel ou tel atome ou telle molécule, mais jouant sur des effets de moyenne. Plusieurs millions ou milliards d'atomes sont alors nécessaires pour réaliser une fonction élémentaire. Au contraire, le passage à l'atome ou à la molécule, ou nanofabrication, permet de jouer sur la nature et la position dans l'espace de chaque atome pour permettre à un ensemble de quelques dizaines à centaines d'atomes de réaliser une fonction élémentaire. On fournit les mêmes fonctions avec beaucoup moins d'atomes, donc de matière.

L'enjeu de la recherche dans le dispositif national Nano-INNOV est d'accélérer en France cette révolution industrielle pour un double bénéfice : relancer l'industrie française et réaliser l'objectif du développement durable.

Agréger les compétences et les moyens en nanotechnologies dans un nombre limité de centres d'excellence

L'approche globale des nanotechnologies, connue sous le nom de convergence des technologies, permet d'embrasser conjointement la nanoélectronique, les nanomatériaux et les nano-biotechnologies tout en anticipant les croisements fertiles entre ces trois spécialités. Elle impose de maîtriser tous les maillons du processus de développement de nano-objets innovants : la nano-modélisation, la nano-fabrication, la nano-caractérisation et la sécurité des nanotechnologies. Enfin, la nano-conception est un élément central du dispositif global. Elle est indispensable pour créer le lien avec les applications en

¹ Sous la direction de Jérôme Bindé, *Signons la paix avec la Terre - Quel avenir pour la planète et pour l'espèce humaine ? Entretiens du XXI^e siècle.*, éditions Unesco Albin Michel, 2007. Cette analyse a été synthétisée dans un article de Koïchiro Matsuura, directeur général de l'Unesco, *Peut-on encore sauver l'humanité ?* Le Figaro Débats, 28/01/2008

rendant les nano-objets véritablement utiles au développement des produits et systèmes destinés à conquérir les nouveaux marchés.

Pour accélérer le processus d'innovation et rester au cœur de la compétition internationale, il faut favoriser et amplifier l'interdisciplinarité, couvrir un très large domaine de compétences et de moyens et les intégrer sur un nombre limité de sites au niveau national. Les trois centres d'intégration Nano-INNOV ont vocation à atteindre une taille critique de moyens et de compétences de stature internationale. Ils constitueront de véritables creusets de créativité et d'innovation :

- Paris Région possède, de loin, le plus fort potentiel de recherche fondamentale dans les nanotechnologies et un tissu industriel considérable constituant un vrai réceptacle à l'innovation. Le couplage entre les deux reste l'enjeu majeur.
- Grenoble, exemple réussi d'écosystème d'innovation, est déjà pleinement engagé dans les nanotechnologies et doit s'impliquer dans une phase de consolidation et d'élargissement de ses domaines applicatifs.
- Toulouse dispose de trois secteurs industriels applicatifs, l'aéronautique et le spatial, la pharmacie et les composants pour les transports, dont l'avenir dépend en grande partie de la maîtrise de l'innovation en nanotechnologies. Le tissu de recherche dans le domaine est de grande qualité mais reste encore trop fragmenté. Il nécessite une action structurante d'ampleur.

Ensemble, ces trois territoires innovants concentrent la quasi-totalité des pôles de compétitivité de dimension mondiale ainsi que des pôles nationaux qui couvrent les domaines applicatifs majeurs des nanotechnologies. Il s'agit de System@tic et Medicen (ainsi que Astech et Moveo) à Paris Région, de Minalogic et Lyon-Biopôle en appui de Lyon (ainsi que Tennerdis) à Grenoble et d'Aerospace Valley et Cancer-Bio-Santé (ainsi que AgriMip Innovation) à Toulouse.

Coordonner les actions françaises dans les nanotechnologies au niveau national

Si la communauté française des nanotechnologies se concentre majoritairement sur les trois territoires de Paris Région, de Grenoble et de Toulouse, elle est également présente sur d'autres sites qui ne possèdent pas la taille critique dans l'approche globale des nanotechnologies, mais qui peuvent et doivent apporter leurs contributions à cette impulsion nationale d'ampleur.

En recherche fondamentale, la communauté de la connaissance française possède d'autres implantations significatives. On peut citer tout particulièrement Lille avec le laboratoire IEMN, Besançon avec le laboratoire Femto, mais aussi Lyon, Marseille, Strasbourg ou Bordeaux. Pour mobiliser l'ensemble des chercheurs français, il est donc indispensable d'associer pleinement ces laboratoires à l'action structurante des trois centres d'intégration en leur ouvrant l'accès à ces « hubs » de l'innovation en nanotechnologies et en leur faisant jouer le rôle essentiel, en amont, de créativité et d'inventivité.

En aval, si les applications hautes technologies des nanotechnologies se retrouvent en grande partie dans les trois territoires, tout particulièrement au sein des pôles de compétitivité cités ci-dessus, leurs innovations doivent aussi profiter aux industriels implantés plus largement en France. En effet, la substance même des nanotechnologies les conduit à être particulièrement diffusantes dans tous les secteurs industriels, notamment avec les avancées apportées par les nanomatériaux. Il est donc indispensable de coupler ces trois « hubs » de l'innovation avec de nombreux autres pôles de compétitivité répartis sur le territoire national et qui couvrent des secteurs applicatifs plus « traditionnels » mais pour lesquels l'introduction des nanotechnologies va permettre de développer des produits plus performants ou innovants absolument nécessaires à leur compétitivité.

Accélérer les innovations industrielles

A un moment où les grandes entreprises se sont largement mondialisées et accèdent à des capacités de recherche performantes dans un nombre de pays et de sites d'excellence croissant, la recherche française ne peut plus se satisfaire de l'unique excellence scientifique. Une profonde politique de changement culturel doit être engagée pour que les chercheurs français placent une partie substantielle de leurs travaux dans une optique de création de valeur économique, notamment à court terme, et dans une relation de type client - fournisseur avec les entreprises. Sans cela, les entreprises mondialisées vont progressivement délocaliser leur recherche industrielle auprès de fournisseurs de recherche étrangers répondant mieux à leur demande d'innovation, se coupant ainsi de leur territoire d'origine pour la création d'emplois en aval. De la même manière, faute d'une capacité locale d'innovation compétitive, l'attractivité et la visibilité de notre recherche vis-à-vis des grandes entreprises étrangères s'effriterait, alors même que se joue la quatrième révolution industrielle, celle des nanotechnologies.

Pour leur part, les PME/PMI françaises ont un besoin vital de s'appuyer sur une innovation locale pour concevoir et fabriquer des produits innovants compétitifs. Dans le cas présent, elles n'ont pas la possibilité de se délocaliser facilement pour bénéficier de l'accès à l'innovation dans les sites mondiaux majeurs et doivent donc entièrement se reposer sur l'innovation en France. Une innovation nationale trop faible dans le domaine des nanotechnologies les priverait irrémédiablement des retombées de cette révolution industrielle majeure, les faisant de facto décrocher face à leurs concurrents internationaux qui pénétreront le marché français avec leurs produits plus performants.

Pour bénéficier à fond de cette quatrième révolution industrielle des nanotechnologies, la France se dote avec Nano-INNOV d'un dispositif structurant globalement la recherche technologique et suffisamment pérenne pour assurer son efficacité. Les trois centres d'intégration Nano-INNOV constituent le noyau solide d'une recherche technologique publique qui doit donner l'impulsion nationale dans le domaine des nanotechnologies.

Coupler la recherche technologique en amont avec la recherche fondamentale et en aval avec le tissu industriel.

Les centres d'intégration Nano-INNOV joueront réellement leur rôle de catalyseur national et constitueront le maillon nécessaire entre la recherche fondamentale et l'industrie en collaborant étroitement tant avec la communauté de la connaissance en amont qu'avec le monde industriel en aval.

La communauté de la connaissance répartie sur l'ensemble du territoire national est seule en mesure de fournir l'accès aux résultats de la recherche fondamentale. Nano-INNOV va offrir les conditions pour stimuler au sein de la recherche fondamentale la créativité et en exploiter les fruits dans les centres d'intégration Nano-INNOV par deux moyens nouveaux :

1- Le programme de Recherche Technologique Nano-INNOV

La recherche technologique à travers Nano-INNOV dispose des compétences lui permettant de coordonner des appels d'offres thématiques finalisés, lancés conjointement avec l'ANR.

Un fonds de recherche technologique, destiné à accélérer l'innovation industrielle à partir des nanotechnologies, sera mis en place dès 2009.

L'appel à projets « Recherche Technologique en nanotechnologies » ouvert aux industriels et aux laboratoires publics mettra en œuvre des critères de sélection spécifiques à l'objectif d'innovation industrielle poursuivi, des indicateurs spécifiques permettant de mesurer l'impact des projets en terme de création de propriété intellectuelle, de transfert de technologie de la recherche publique vers l'industrie.

2- Le programme des Grandes centrales en nanotechnologies

Lancé par le Ministère de la Recherche en 2004 puis porté par l'ANR à partir de 2007, le projet des 'Grandes centrales technologiques en micro et nanotechnologies' a essentiellement permis d'assurer la jouvence des équipements des principales centrales technologiques du CNRS (LAAS à Toulouse, IEMN à Lille, LPN-IEF à Paris, FEMTO à Besançon) et la constitution sur MINATEC (CEA-LETI et CNRS LTM) d'une plate-forme de nanocaractérisation. L'efficacité du programme RTB a été successivement saluée par deux comités internationaux d'évaluation.

Le dispositif national de Nano-INNOV permet de passer à une seconde phase pour assurer la compétitivité en Europe des centrales françaises face notamment aux centrales allemandes (FhG), belges (IMEC), finlandaises (VTT) par la mise en place et l'exploitation d'une grande infrastructure de recherche nationale constituée des moyens lourds du CEA LETI, des grandes centrales de technologies du CNRS et des centrales plus légères dites de proximité. La création des trois centres d'intégration permettra de réaliser cette seconde phase en assurant entre ces trois centres la mise en commun d'équipements, de méthodologies, de ressources humaines pour concevoir, fabriquer et tester les produits de plus en plus complexes demandés par l'industrie.

La mise en place des moyens mutualisés entre les trois centres d'intégration Nano-INNOV permettra de concevoir, de fabriquer et tester les prototypes fonctionnels qui nécessitent d'utiliser plusieurs centres d'intégration.

Ces deux nouveaux outils viennent s'ajouter au fonds de ressourcement déjà géré par l'ANR. En particulier, le programme P3N qui bénéficie à notre vaste communauté de chercheurs en nanosciences sur l'ensemble du territoire national, sera renforcé.

Prendre en compte les risques potentiels liés à l'usage des nanomatériaux

Les nanotechnologies suscitent des questionnements légitimes sur les risques associés à leur utilisation dans des produits de la vie courante et à leur impact éventuel sur l'homme et sur l'environnement. Ce sujet a été souligné dans le cadre du Grenelle de l'Environnement.

Si l'impact éventuel des nanotechnologies sur l'homme et sur les écosystèmes mérite une attention particulière (en effet, nous manquons de recul à leur sujet malgré la présence depuis toujours dans l'environnement de nombreuses nanoparticules d'origine soit naturelle soit artificielle), un des premiers enjeux de la recherche en nanotechnologies est de maîtriser les techniques de prévention dès les phases de conception et de production concernant certains matériaux produits ex nihilo. Cette action sera menée à titre pilote dans le centre d'intégration Nano-INNOV de Grenoble.

S'inscrire dans l'espace européen de la recherche et s'appuyer sur l'Alliance Nano-INNOV pour fédérer, un futur Institut Européen de Technologie.

L'analyse du développement mondial des nanotechnologies montre une compétition croissante entre les trois régions les plus avancées, à savoir les Etats-Unis, l'Asie, et l'Europe. Pour des raisons évidentes de dimensionnement de l'effort de recherche et d'innovation ainsi que de taille des marchés domestiques adressés face aux autres grands blocs mondiaux, la France se doit d'inscrire cette impulsion nationale dans le cadre européen.

Avec la mise en place de l'Institut Européen de Technologie (EIT) proposé par le Président Barroso, de nouvelles ambitions sont permises si, comme c'est probable, les nanotechnologies sont une des composantes des premières Communautés de la Connaissance. Cet IET complètera l'actuel European Research Council (ERC) qui couvre spécifiquement le volet de la recherche fondamentale.

C'est dans cet esprit que la Direction générale de l'éducation a lancé en 2007 un appel d'offre visant à susciter la création de communautés d'intérêt pour la création du futur IET. Sur 52 propositions, 4 ont été retenues couvrant les quatre thématiques d'intérêt majeur pour l'Europe, la médecine du futur, les transports du futur, l'énergie et le climat ainsi que la complexité des technologies. Ce dernier projet, nommé Complex'EIT proposé par la France dont elle assure le leadership concerne l'augmentation de la complexité des technologies depuis le niveau des nanotechnologies jusqu'au niveau des systèmes complexes. Ce projet s'appuie au niveau français sur le réseau des trois villes Paris Région, Grenoble et Toulouse donc de facto sur le dispositif Nano-INNOV. Paris Région, en tant que tête du réseau Nano-INNOV, peut constituer le « hub » français d'une Communauté de la Connaissance et de l'Innovation. Ce projet s'appuie également sur un partenariat franco-allemand privilégié pour bâtir l'Europe des nanotechnologies.

Elaborer pour des raisons de compétitivité internationale des partenariats internationaux avec les grands centres homologues au niveau mondial.

En parallèle de cette insertion dans la dynamique européenne, il convient de mettre en œuvre des partenariats assurant les contacts avec les principaux sites dans les nanotechnologies au niveau mondial et la confrontation avec les plus grands compétiteurs.

En effet, la constitution des trois Centres d'intégration Nano-INNOV dans les trois villes et la mise en place du dispositif national de coordination Nano-INNOV va rendre très lisible et visible au niveau international le dispositif de recherche et d'innovation français dans les nanotechnologies. Il va donc susciter une légitime curiosité suivie d'un intérêt marqué de la part des principaux acteurs mondiaux qui observent en permanence les initiatives concurrentes. Cette attitude a été constatée lors de la création de MINATEC® dédié aux micro et nanotechnologies à Grenoble, considéré comme un modèle de centre d'excellence de stature internationale.

Cette situation va créer un certain nombre d'opportunités de rencontres et de possibilités de coopération d'égal à égal avec les sites leaders mondiaux du domaine. La R&D française sera ainsi confrontée aux meilleurs standards internationaux et pourra construire des partenariats internationaux garantissant le plus haut niveau de performance, ce qui constitue la meilleure des stimulations. En respectant les règles les plus strictes en matière de protection des inventions, ce type d'alliances stratégiques internationales garantit aux industriels français clients le meilleur niveau de R&D en s'adressant à Nano-INNOV.

Bien entendu ces alliances internationales stratégiques ne peuvent s'établir que si elles respectent les intérêts des industriels français majeurs impliqués dans ce domaine d'activité et si elles constituent un renforcement de leurs propres intérêts sur ces sites d'excellence. La situation de la nanoélectronique à Grenoble avec l'intégration du dispositif ST Crolles/Leti-MINATEC® dans la seule alliance mondiale ouverte du semiconducteur, celle d'IBM aux Etats-Unis est tout à fait emblématique de cette démarche. Elle doit pouvoir trouver rapidement une expression similaire sur Paris et sur Toulouse.