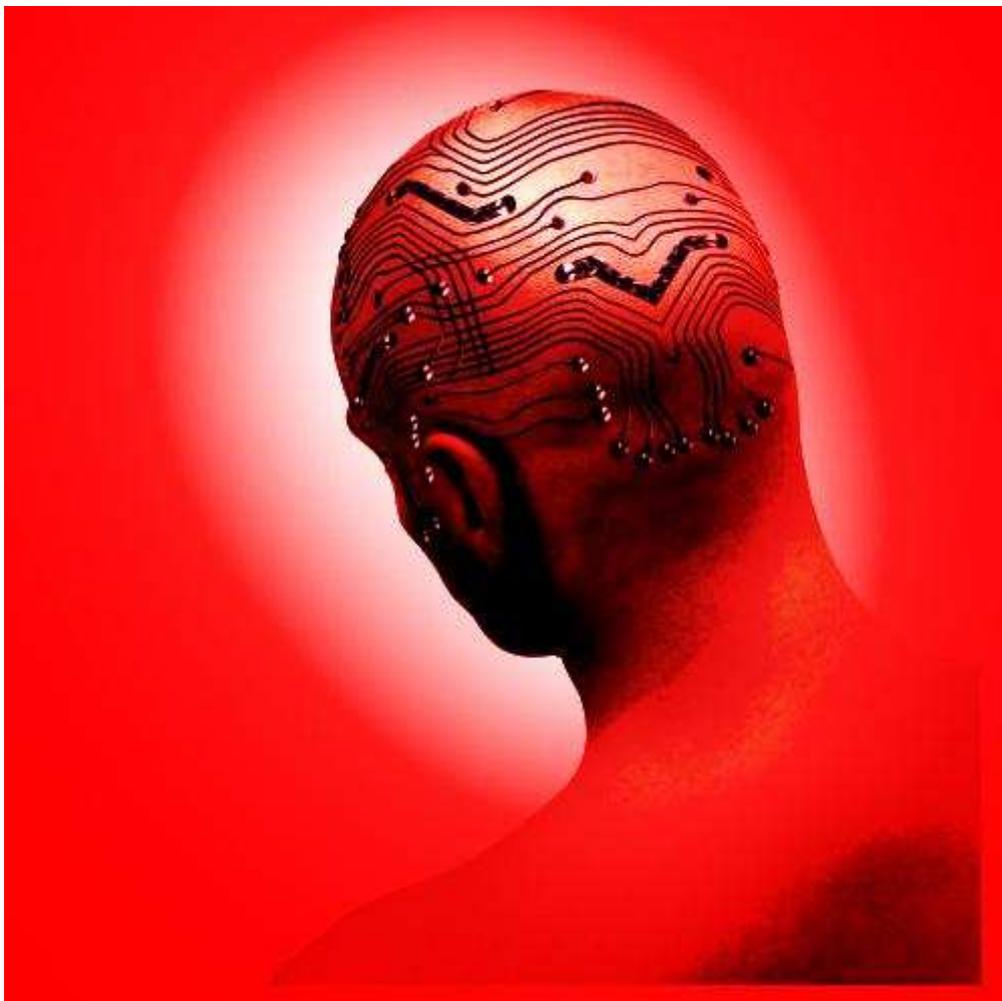


Science-fiction ?

Clinatec : cette discrète clinique où l'on implante des nanos dans le cerveau

Par [Agnès Rousseaux](#) (24 octobre 2012)

Un centre de recherche d'un nouveau genre s'apprête à mener ses premières expériences. Implants de nanotechnologies dans le cerveau, neurostimulation, « médecine régénérative », jusqu'à des technologies pouvant changer le comportement : tels seront les recherches menées à Clinatec, à Grenoble, sur des patients volontaires. Une certaine opacité entoure ce projet, résultat d'une alliance entre industrie nucléaire, « start-up » de nanotechnologies et neurochirurgiens. Comment seront encadrées ces recherches ? Quel contrôle sera exercé sur leurs applications commerciales et industrielles ? *Basta !* a mené l'enquête.



C'est une « clinique expérimentale » où l'on teste des dispositifs électroniques implantés dans le cerveau. Baptisée Clinatec, cette neuro-clinique, pilotée par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) de Grenoble, travaille sur les applications des nanotechnologies dans le champ des neurosciences, en particulier sur les maladies neurodégénératives, comme Parkinson. Mais difficile de savoir ce qui s'y passe vraiment : une certaine opacité entoure ses activités. Cas unique en France, l'établissement est situé en dehors du milieu hospitalier, sur un terrain du CEA dont certains bâtiments sont soumis au secret défense.

Au sein de Clinatéc, on parle interface cerveau-machine, neuro-stimulation profonde, nano-implants dans le crâne. Ces dispositifs médicaux inédits seront testés d'ici quelques mois sur des patients. Cette alliance entre l'industrie nucléaire, celle des nanotechnologies et des chercheurs en neurosciences augure mal du nécessaire contrôle démocratique qui devrait encadrer le périlleux usage de ces sciences pour le moins futuristes. Car les nanotechnologies ne sont pas sans poser [de nombreux problèmes](#) (lire [nos articles à ce sujet](#)). A Clinatéc, serait-on en train d'inventer en toute discrétion l'homme bionique de demain, bardé d'électrodes et surveillé par des capteurs ?

Des implants cérébraux contre la dépression ou l'obésité

Point commun de ces recherches : le développement de dispositifs médicaux implantés dans le corps humain. Tel ce kit de stimulation électrique du cerveau qui permet d'atténuer les effets de la maladie de Parkinson. Une sorte de pace-maker cérébral. Plus de 40 000 malades dans le monde ont déjà été « implantés », selon une technique développée par le professeur Alim-Louis Benabid, l'un des concepteurs du projet Clinatéc. L'objectif est aujourd'hui de développer des techniques moins invasives, de taille réduite, grâce aux micro et nanotechnologies. Autre exemple : des neuroprothèses, pour permettre à des patients tétraplégiques de contrôler un bras robotisé, via des électrodes implantées dans le crâne. Ou de se mouvoir grâce à un exosquelette motorisé.

Clinatéc est le résultat d'un partenariat entre le CEA, le CHU de Grenoble et l'Inserm. Le projet est porté par Jean Therme, directeur du CEA de Grenoble [1] et par le neurochirurgien Alim-Louis Benabid [2], actuellement conseiller scientifique au CEA. Clinatéc s'inscrit dans le prolongement des travaux du neurochirurgien sur la stimulation cérébrale profonde et la maladie de Parkinson. Mais le champ de recherche s'élargit : épilepsie, troubles mentaux, troubles obsessionnels compulsifs (Toc)... Le directeur de Clinatéc, François Berger, professeur de médecine [3], évoque la possibilité de traiter l'obésité ou l'anorexie par la neuro-stimulation [4]. Et peut-être, demain, la dépression.



Ces champs de recherche inédits, avec des technologies dont on ne maîtrise pas les conséquences, ne semble pas émouvoir outre mesure les pouvoirs publics. L'Agence régionale de santé (ARS) a délivré une autorisation en 2010 pour l'ouverture de Clinatéc. Après une visite de contrôle, le 16 avril 2012, un arrêté autorise l'activité du centre en tant que « lieu de recherches biomédicales dédiées aux applications des micro-nanotechnologies à la médecine ». Une définition bien vague. Qu'importe, les recherches peuvent commencer. Se feront-elles de la même opacité que celle qui entoure l'élaboration du projet dès son origine ?

Geneviève Fioraso, ministre de Clinatec

La construction de Clinatec est lancée en 2008 avec une « procédure restreinte » : le CEA en tant qu'organisme de droit public classé défense n'est pas soumis au Code des marchés publics. Le culte du secret est fortement critiqué par ses détracteurs. Pourquoi faire de la recherche clinique en dehors d'un hôpital ? Quel est le statut de Clinatec ? A-t-il un comité d'éthique ? Qui compose son « directoire », dont font partie François Berger et Alim-Louis Benabid ?

« Nous n'avons pas voulu parler du projet tant que nous n'avions pas l'autorisation (de l'ARS, ndlr), répond aujourd'hui François Berger, interrogé par Basta !. Nous commençons tout juste à communiquer. Nous avons aussi décidé de ne pas faire une communication de science-fiction, mais d'être plus humbles sur ce qu'on fait à Clinatec. » Après l'opacité, le temps de la transparence ?

Le projet Clinatec est ardemment soutenu par la ville de Grenoble. Son maire, Michel Destot (PS), en est un fervent partisan. Rien d'étonnant : ancien ingénieur du CEA, il a aussi dirigé une start-up née dans le giron de celui-ci. En tant que maire, il préside depuis 1995 le CHU de Grenoble, autre acteur clé de Clinatec. Lors des dernières élections municipales, le Professeur Alim-Louis Benabid figure sur sa [liste](#). Le chercheur a également [présidé](#) le comité de soutien de Geneviève Fioraso, alors adjointe à la Ville de Grenoble, lors des dernières législatives.

Clinatec, rêve des ingénieurs du nucléaire

Geneviève Fioraso : l'actuelle ministre de l'Enseignement supérieur la Recherche, chargée de l'« innovation » dans l'équipe de campagne de François Hollande, est une autre actrice clé de Clinatec. La société d'économie mixte qu'elle préside, la SEM Minatec entreprises, accueille Clinatec sur son pôle d'activité. Son concubin, Stéphane Siebert, est directeur adjoint du CEA Grenoble. *« Destot, Fioraso, Siebert, c'est le CEA dans la mairie, Fioraso à l'enseignement supérieur, c'est le CEA au ministère », analyse* l'écologiste grenoblois Raymond Avrillier.

« Le directeur du CEA nous fait courir, mais nous suivons », confie Geneviève Fioraso [\[5\]](#), à propos de Jean Therme. Directeur du CEA Grenoble, il est le concepteur de Clinatec. Un « rêve » débuté le 2 juin 2006 dans son bureau, en présence d'Alain Bugat, ingénieur général de l'Armement [\[6\]](#), alors administrateur général du CEA, et de Bernard Bigot alors haut-commissaire à l'énergie atomique (et aujourd'hui vice-président du Conseil de surveillance d'Areva et administrateur général du CEA) [\[7\]](#). Ce rêve caressé par les hommes du nucléaire, civil et militaire, se muera-t-il en cauchemar pour la démocratie ?

Secret industriel ou secret défense ?

Des élus locaux de poids, le CEA, l'argument de l'innovation : c'est donc sans surprise que le projet est financé par un contrat de plan entre État et région. Plus de 20 millions d'euros sont abondés par l'État et les collectivités [\[8\]](#). La municipalité de Grenoble participe à hauteur de 2,2 millions d'euros. Sans information ni approbation du Conseil municipal, tempêtaient en 2009 les élus écologistes, qui ont publié un [dossier](#) complet sur Clinatec. Malgré leurs demandes répétées et un avis favorable de la Commission d'accès aux documents administratifs, ces élus affirment n'avoir obtenu en deux ans d'enquête qu'un seul document de la part des services de l'État. Motif : secret industriel ou secret défense.



Trois ans plus tard, les chercheurs peuvent désormais officier. Mais avant le lancement des essais cliniques, un autre feu vert doit être donné par l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé ([ANSM](#)), ainsi qu'un Comité de protection des personnes (CPP), comme le veut la loi sur la [recherche biomédicale](#). Problème : du côté de l'ANSM et des CPP de la région Rhône Alpes, personne n'a vu passer de demande d'autorisation. « Normal », répond la responsable du pôle recherche du CHU de Grenoble : « Il n'y a pas de projets de recherche clinique en cours. »

Premiers patients en février 2013

Les recherches en seraient au stade de « projets de projets », pas encore aux « protocoles de recherche » ou aux essais cliniques. Une date est-elle prévue pour l'accueil de patients ? « *Aucun calendrier n'est fixé* », répond la responsable du CHU. Visiblement les questions ne sont pas les bienvenues. « *La date d'inauguration de Clinatéc est le secret le mieux gardé de Grenoble* », ironise de son côté le collectif grenoblois [Pièces et Main d'œuvre](#) (PMO), très opposé au projet (lire [notre entretien](#)).

Selon l'arrêté de l'Agence régionale de santé d'avril 2012, les recherches biomédicales doivent cependant être entreprises dans l'année, sinon l'autorisation devient caduque. Le lieu est opérationnel, confirme-t-on au CHU, et « *des projets de l'hôpital pourraient basculer sur ce site* ». Par exemple ? Un « *réglage de machines sur volontaires sains* »... Le premier protocole de recherche – non-thérapeutique – est prévu pour mi-novembre, confirme François Berger, à *Basta !*. Une cinquantaine de personnes travaillent déjà à Clinatéc, précise son directeur. Les premiers protocoles chirurgicaux sur des patients sont prévus pour février-mars 2013. Reste à obtenir les autorisations.

Bloc opératoire du futur

Ingénieurs et médecins seront donc réunis dans un même bâtiment sécurisé de 6 000 m² [9], qui n'est pas un établissement hospitalier. Avec une mission commune : placer des nanos dans la tête de patients-cobayes. Ils bénéficieront de moyens conséquents : labos de recherche, zones expérimentales pré-cliniques, blocs opératoires et même une animalerie pour fournir des cobayes – rats, mini porcs et primates – avant les tests sur les humains.



Ceux-ci séjourneront dans une « salle d'opération du futur où médecins et technologues uniront leurs compétences », et six chambres d'hospitalisation. Pour que médecins et ingénieurs puissent se comprendre, « *il faut que les ingénieurs soient présents dans le bloc opératoire jusqu'à la fin* », plaide François Berger. Les innovations « *seront testées sur des patients volontaires qui auront donné leur consentement éclairé* », décrit Clinattec, précisant que les « *activités médicales et chirurgicales de CLINATEC® relèvent des chercheurs et des chirurgiens d'organismes de recherche (Inserm) ou de CHU* ». Et non du Commissariat à l'énergie atomique. Les patients apprécieront.

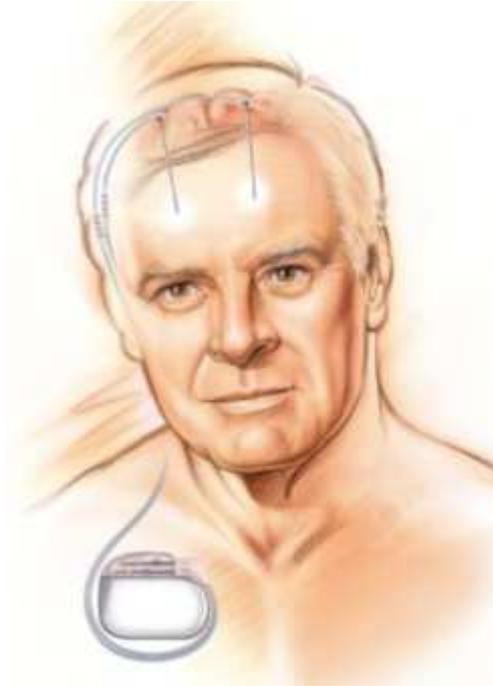
« Transfert de connaissances à l'industrie »

Mener des recherches, y compris sur des êtres humains avec des technologies à risques, est une chose. En commercialiser les applications pour l'industrie en est une autre. Cette frontière entre essais cliniques et applications industrielles existe-t-elle à Clinattec ? Le centre est un « hôtel à projets, ouvert aux collaborations académiques et industrielles ». L'infrastructure peut être louée pour des recherches publiques comme privées. Clinattec est décrit comme permettant le « transfert de connaissances et de savoir-faire à l'industrie » [10] et présenté comme un partenariat public-privé exemplaire. En intégrant en un même lieu toutes les compétences nécessaires, les promoteurs du projet espèrent « *accélérer le processus de transfert des technologies vers le patient* ». Via l'industrie pharmaceutique ou médicale.

Avant même que les travaux ne commencent, les possibilités de débouchés économiques semblent assurés. Le Laboratoire d'électronique et de technologies de l'information ([Leti](#)) du CEA Grenoble, dont dépend Clinattec, est particulièrement attaché aux collaborations étroites avec le secteur privé. Son slogan ? « L'innovation au service de l'industrie ». Son objectif ? Contribuer à « *renforcer la compétitivité de ses [365] partenaires industriels* ». Le Leti se targue d'être l'un des instituts de recherche les plus prolifiques au monde en matière de start-up technologiques. La proximité géographique de Clinattec avec les entreprises du site – Siemens, Philips, Thales, Bio-Mérieux, Becton Dickinson ou Sanofi Aventis – semble assurément un atout pour accélérer le transfert de ces innovations nano-médicales !

Quels débouchés commerciaux ?

Une société états-unienne, [Medtronic](#), commercialise déjà les « kits de stimulation cérébrale neurologique profonde » à destination des personnes atteintes de la maladie de Parkinson. Un système qui est l'aboutissement travaux du professeur Alim-Louis Benabid. La firme, surnommée « le Microsoft des implants médicaux » selon PMO, a réalisé en 2012 un chiffre d'affaires de 16,2 milliards de dollars, sans doute grâce à la nouvelle version de son stimulateur neurologique [11].



© Medtronic / Dossier de presse Clinec

Grâce à cet implant, les patients peuvent améliorer leurs facultés de parole ou de mobilité. Mais il ne faut pas se tromper de programme, la stimulation de la fonction « parole » pouvant entraver la mobilité et réciproquement [12] ! Cette technologie reste à risque : mal implantée, elle peut provoquer le coma, voire le décès du patient.

Du traitement de Parkinson à la « médecine régénérative »

« La définition de nouvelles voies pour la médecine de demain implique une nouvelle culture de la recherche », précise le dossier de présentation de Clinec. On espère aller bien au-delà de ces premières utilisations. Les chercheurs travailleront principalement sur la neurostimulation, l'administration localisée de médicaments (grâce à des pompes situées dans le corps par exemple) ou la suppléance fonctionnelle (des machines qui prennent le relais de fonctions défaillantes). Ils pourraient se pencher également sur la stimulation magnétique pour lutter contre la dépression.

On s'aventure ici beaucoup plus loin que le traitement des mouvements incontrôlés de la maladie de Parkinson. Il s'agit de stimuler par des électrodes le circuit cérébral de la récompense, comme le montrent des [expériences](#) menées en Allemagne sur le traitement de la dépression sévère. A Grenoble, on n'en est qu'à la recherche théorique, pas encore aux essais cliniques sur ce sujet, précise François Berger. Aurons-nous bientôt des implants cérébraux pour effacer nos mauvais souvenirs, stimuler notre jovialité, ou changer notre perception du monde ?

En 2008, le directeur du centre pointait une autre application possible : l'utilisation d'implants pour une « médecine régénérative ». La neurostimulation débiterait avant l'apparition des symptômes, pour ralentir le processus dégénératif. Elle *« devrait alors être beaucoup plus précoce, peut-être pré-clinique, dans l'hypothèse où l'on disposerait de bio marqueurs, ce qui ne manquerait pas de poser des problèmes éthiques [13] »*, admet François Berger... Imaginez des électrodes implantés dans le cerveau à la naissance, qui s'activeront pour prévenir le vieillissement.

« On peut changer la personnalité de quelqu'un »

« Avoir des outils implantés qui traiteront la maladie avant qu'elle n'apparaisse peut aussi être un avantage, même si cela a un côté impressionnant », argumentait François Berger devant les parlementaires. « C'est vrai qu'un des buts de la nanomédecine est de ne pas avoir à réparer. (...) À travers la nanomédecine, on dressera une nouvelle frontière entre le normal et le pathologique. Il faudra être extrêmement prudents. Il s'agit de décisions de société », prévient le directeur de Clinatec [14].

Qu'en pense son collègue Alim-Louis Benabid ? « Avec les électrodes et les implants cérébraux, on peut changer la personnalité de quelqu'un qui était anormal, pour le remettre dans la normalité. On peut faire passer les gens d'un état suicidaire à un état jovial. Faut-il en conclure qu'on peut manipuler les gens et les faire marcher au pas cadencé ? Certes, mais on les fait tellement marcher au pas cadencé par d'autres moyens », aurait-il déclaré en janvier [15]. Pour l'Union syndicale de la psychiatrie, pas de doute : « La création de Clinatec constitue manifestement un pas de plus dans une fuite en avant techno-scientiste qui n'a d'autre finalité que de contrôler les populations, en réduisant l'homme à son cerveau, à son comportement, à son utilité, à sa docilité. »

Quid du principe de précaution ?

Clinatec incarne donc une « nouvelle culture de la recherche » aux implications sans précédents pour l'être humain, qui vise de surcroît à « accélérer » le transfert de ces technologies à l'industrie. Un double objectif loin d'être compatible avec le principe de précaution. « Le clinicien que je suis ne peut cependant que lancer un cri d'alarme : attention au principe de précaution. Trop de régulation tue l'innovation thérapeutique », déclarait ainsi François Berger lors d'une [audition](#) par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. « A l'évidence, les citoyens ont peur », constatait le chercheur, qui salue l'organisation de conférences pour donner aux chercheurs « la possibilité d'éduquer des citoyens » sur le sujet.

« Faire croire que l'on imposerait un "nanomonde" totalitaire à la population sans débat préalable relève non seulement de la manipulation mensongère mais aussi d'une forme de paranoïa politique bien connue, qui s'appuie sur la théorie du complot, la haine des élites (sic), des élus, des responsables », [lançait](#) le maire de Grenoble Michel Destot, lors de l'inauguration du pôle Minatec en 2006. « On parle beaucoup de principe de précaution pour les domaines où l'on ne voit pas très clair, où les scientifiques ne peuvent prendre position. L'application de ce principe conduit à mon sens à l'inaction et à l'immobilisme, ce qui ne me semble pas le meilleur choix », [estime](#) l'élus, qui semble préférer l'action et le volontarisme – indéniable en matière nucléaire... – du CEA en la matière. Tout questionnement philosophique et éthique serait-il assimilé à de la craintive inertie ?

Des bugs dans le cerveau

Implanter des électrodes dans le cerveau n'est cependant pas sans danger : « Une mauvaise localisation de l'électrode risque aussi de provoquer des rires ou, au contraire, des états de tristesse », pointe François Berger [16]. Et la technique pas tout à fait sûre : des chercheurs de l'entreprise d'informatique McAfee ont [découvert](#) le moyen de détourner une pompe à insuline installée dans le corps d'un patient. Ils pouvaient injecter d'un coup l'équivalent de 45 jours de traitement... D'autres ont montré la possibilité de reprogrammer à distance un défibrillateur implanté. Et les bugs informatiques de ces dispositifs médicaux ne sont pas rares [17].

Un hacker aurait même trouvé le moyen de [pirater](#) à distance les pacemakers, et de provoquer des chocs électriques mortels en réécrivant le code informatique... Imaginez les conséquences

sur le cerveau ! [Medtronic](#), principal fabricant de stimulateurs neurologiques, conseille d'éviter les portiques de sécurité des aéroports, et prévient que le neurostimulateur peut s'allumer ou s'éteindre lorsqu'il se trouve à proximité de petits aimants permanents, comme ceux des haut-parleurs ou des portes de réfrigérateur.

Une version high tech de l'électrochoc ?

La nano-miniaturisation de ces dispositifs les rendra-t-il plus sûrs ? Ou au contraire plus incontrôlables ? Dans la course aux nanotechnologies [18], des projets comme Clinatéc sont présentés comme des symboles de l'excellence française. Que nous réserve le passage de la médecine actuelle, basée sur l'anatomie et les symptômes, à la nano-médecine « régénérative » ? Où se situe la limite entre médecine et « augmentation » humaine, chère aux transhumanistes ? Jusqu'où peut-on plonger dans le cerveau ?

Et est-il souhaitable de traiter les symptômes plutôt que les [facteurs environnementaux](#) des maladies neurodégénératives ? La neurostimulation, *« corrige les symptômes, et non la pathologie. Autrement dit, comme le reconnaît Benabid lui-même, les électrodes ne soignent pas. Appliquées aux souffrances psychiques, elles ne sont que la version high tech de l'électrochoc, analyse le collectif Pièces et Main d'œuvre. Peu importe la cause de la dépression, de l'addiction, du désordre alimentaire, des TOC : envoyez la bonne fréquence et n'en parlons plus. »*

Choix de société

Si ces techniques ont permis de rendre la vie de malades de Parkinson plus facile, les risques de dérive n'en sont pas moins immenses. Les neuroprothèses liant homme et machine existe depuis quelques décennies. Mais *« la miniaturisation due aux nanotechnologies promet un saut qualitatif inédit »*, résume PMO. L'utilisation des nanotechnologies est d'ores et déjà envisagé *« à des fins agressives, qu'elles soient militaires, ou consuméristes »*, pointait en 2007 le [Comité Consultatif National d'Éthique](#). *« Investir sans réflexion sociétale, sans conscience de la dignité humaine, avec une sorte de naïveté, dans un environnement et une médecine qui produiraient a priori le bien être et la santé par les nanotechnologies aboutirait de façon paradoxale à "exiler l'homme de lui-même". »*

Des inquiétudes que ne semblent pas partager les promoteurs de Clinatéc. 60 000 personnes reçoivent chaque année en France un pacemaker pour leurs insuffisances cardiaques, explique le dossier de présentation de Clinatéc, et *« un nombre encore plus conséquent de personnes disposent de prothèses auditives et le port de lunettes est très largement répandu dans nos sociétés »*. Pourquoi donc s'inquiéter d'un « dispositif médical » de plus ? Des lunettes aux nanoélectrodes dans le cerveau, il n'y aurait qu'un pas, suggèrent les promoteurs de Clinatéc. Un pas que nous sommes en train de franchir, sans aucun débat.

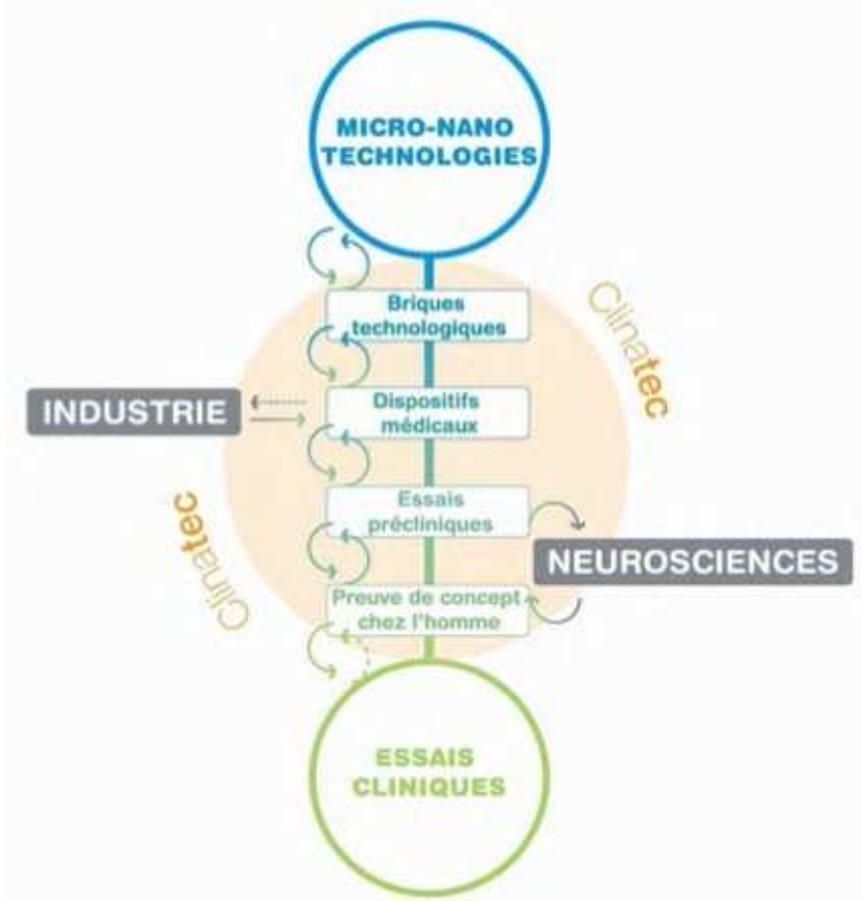
Agnès Rousseaux

[@AgnesRousseaux](#) sur twitter

A lire aussi :

- ▶ [Nanotechnologies : tous cobayes de la nano-bouffe ?](#)
- ▶ [Nanotechnologies : « Éviter que l'histoire de l'amiante ne se répète »](#)
- ▶ [Le débat national sur les nanotechnologies fait naufrage](#)
- ▶ [« Avec les nanotechnologies, nous entrons dans une société de contrainte, totalitaire »](#)
- ▶ [Face aux nanotechnologies, l'Afsset appelle à « agir sans attendre »](#)

Résumé du fonctionnement de Clinattec (dossier de présentation du CEA) :



Notes

[1] Les deux objectifs majeurs du CEA sont : « devenir le premier organisme européen de recherche technologique et garantir la pérennité de la dissuasion nucléaire », rappelle le dossier de présentation de Clinattec

[2] Alim Benabid est professeur émérite de l'Université Joseph Fourier, il a été Chef du service de neurochirurgie au CHU Grenoble de 1989 à 2004 et Directeur de l'Unité INSERM U318 de 1988 à 2007, membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie de Médecine.

[3] François Berger, Institut des neurosciences de Grenoble, équipe nano médecine et cerveau (INSERM- CEA)

[4] Audition devant l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques du 7/11/06

[5] Source : [Les Échos](#), 21/10/2008.

[6] Membre du conseil d'administration de DCNS, EDF et Cogema.

[7] Source : Le mensuel, journal interne du CEA, n°150, mai 2011, cité par [PMO](#)

[8] Une partie du financement est également apporté par la Fondation philanthropique Edmond J. Safra.

[9] Voir les [détails](#) donnés par l'architecte

[10] Notamment lors de colloques organisés sous égide de [Nicolas Sarkozy](#) et de [Roselyne Bachelot](#), ministre de la Santé, en 2009 et 2010

[11] « Avec batteries sans fil rechargeables à travers la peau par induction (comme les brosses à dents électriques) », explique un [site suisse](#) sur la maladie de Parkinson. Ce dispositif est [remboursé](#) par la Sécurité sociale.

[12] « *Les patients chez lesquels la stimulation permet une amélioration de la mobilité mais limite également la faculté de la parole peuvent passer, selon la situation, d'un programme "mettant l'accent sur le langage" (par exemple téléphoner, discuter) à un programme "mettant l'accent sur le mouvement" (par exemple marcher, écrire)* » Source : [Parkinson.ch](#).

[13] Source : Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, *Exploration du cerveau, Neurosciences : Avancées scientifiques, enjeux éthiques*, Comptendu de l'audition publique du 26 mars 2008

[14] Audition devant l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, 7/11/06.

[15] Lors d'une présentation publique à Saint-Ismier, le 17 janvier 2012, propos rapportés par PMO

[16] Pour Luc Mallet, Psychiatre, chercheur au centre de recherche de l'Institut du Cerveau et de la Moelle épinière (ICM), les observations sur les erreurs d'implantation ont montré, de façon décisive, la possibilité d'agir sur des comportements, des affects, des cognitions, en modulant de façon très précise de toutes petites zones au coeur du cerveau, les « ganglions de la base », alors que jusqu'à présent, on mettait en avant le rôle de ces petites structures dans la motricité. « *La stimulation de zones très précises, par exemple, dans une petite zone qui s'appelle « noyau sous-thalamique », qui est toute petite (à l'échelle des millimètres), peut induire un état d'excitation et d'euphorie.* » Source : [Audition](#) par le Sénat, le 29 juin 2011

[17] L'Organisation américaine de l'alimentation et des médicaments (FDA) s'est penchée sur le cas des pompes à perfusion qui auraient causé près de 20 000 blessures graves et plus de 700 morts entre 2005 et 2009, à cause d'erreurs de logiciels. [Source](#)

[18] Dans le cadre du Grand emprunt, l'État a investi un à deux milliards dans la micro-nanoélectronique

Source : <http://www.bastamag.net/article2681.html>