

**Einblick ins Gehirn TA 50A / 2006**

Kurzfassung der TA-SWISS Studie «Hirnuntersuchungen mit bildgebenden Verfahren» ▶

**Regards en coulisse dans les méandres du cerveau TA 50A / 2006**

Résumé de l'étude «Le recours aux procédés d'imagerie en recherche cérébrale» de TA-SWISS ▶

**Views of the brain TA 50A / 2006**

Abridged version of the TA-SWISS study «Impact Assessment of Neuroimaging» ▶

**Bern, 2006 Herausgeber – Editeur – Editor:**

TA-SWISS Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung  
TA-SWISS Centre d'évaluation des choix technologiques  
TA-SWISS Centre for Technology Assessment

**Redaktion Kurzfassung – Rédaction du résumé – Résumé written by:** Dr. Adrian Rüegsegger, TA-SWISS, Bern

**Traduction:** Viviane Mauley, Chesalles-sur-Moudon  
**Translation:** Gary Williamson, Woking Surrey, England

Diese Kurzfassung beruht auf der TA-SWISS Studie – «Impact Assessment of Neuroimaging»  
Le résumé se base sur l'étude TA-SWISS – «Impact Assessment of Neuroimaging»  
The summary is based on the TA-SWISS study: «Impact Assessment of Neuroimaging»

Die TA-SWISS Studie wurde von folgenden **Autorinnen und Autoren** verfasst  
– **Auteurs** du rapport TA-SWISS – **Authors** of the TA-SWISS report:  
Dr. Bärbel Hüsing, Prof. Lutz Jäncke, Prof. Brigitte Tag

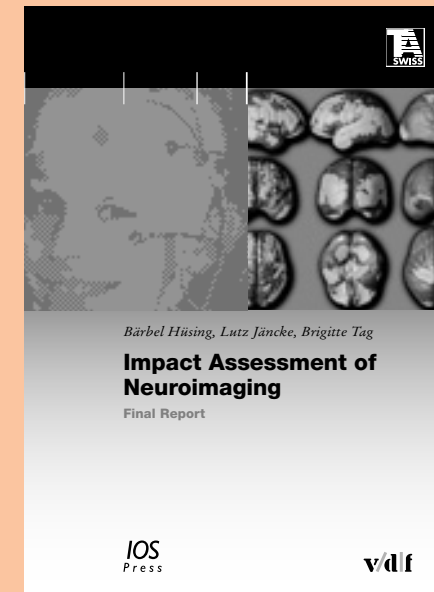
**Betreuung der TA-SWISS Studie – Supervision de l'étude TA-SWISS –  
Supervisor of the TA-SWISS study:** Dr. Adrian Rüegsegger, TA-SWISS, Bern

**Die TA-SWISS Studie wurde unterstützt durch –  
L'étude TA-SWISS a été réalisée avec le support de –  
The TA-SWISS study was supported by:**  
Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

Folgende Personen wirkten bei der TA-SWISS Studie «Impact Assessment of Neuroimaging» in der **Begleitgruppe** mit:  
**Le groupe d'accompagnement** de l'étude TA-SWISS «Impact Assessment of Neuroimaging» se composait des personnes suivantes:  
Members of the **supervisory group** for the TA-SWISS study «Impact Assessment of Neuroimaging»:

Dr. Hermann Amstad, Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften SAMW, Basel; Präsident der Begleitgruppe  
Dr. Andrea Arz de Falco, Fachstelle für Angewandte Medizin-Ethik, Bundesamt für Gesundheit, Bern  
Prof. Lazare Benaroyo, Projet Iris 3 éthique, Université de Lausanne  
Regula Burri, Collegium Helveticum, ETH Zürich  
Prof. Michael Hagner, Professur für Wissenschaftsforschung, ETH Zürich  
Dr. Christian Heuss, Radio DRS, Basel  
Alain Kaufmann, IMédia – Interface Sciences, Médecine et Société, Université de Lausanne  
Prof. Theodor Landis, Service de neurologie, Hôpitaux Universitaires, Genève  
Dr. Dieter Meier, Institut für Biomedizinische Technik der Universität und ETH Zürich  
Prof. Hanns Möhler, Forschungsschwerpunkt «Plastizität und Reparatur des Nervensystems», Universität und ETH Zürich  
Prof. Walter Perrig, Institut für Psychologie, Universität Bern  
Prof. Beat Sitter-Liver, Departement Philosophie, Université de Fribourg  
Prof. Dominique Sprumont, Institut de droit de la santé, Université de Neuchâtel

Die vollständige TA-SWISS Studie, Bild rechts, kann im Fachbuchhandel oder direkt beim  
vdf Hochschulverlag AG, Voltastrasse 24, 8092 Zürich  
Tel. +41 1 632 42 42, [www.vdf.ethz.ch](http://www.vdf.ethz.ch), bezogen werden.



## Regards en coulisse dans les méandres du cerveau – Résumé de l'étude «Le recours aux procédés d'imagerie en recherche cérébrale»

### Pourquoi une étude de TA-SWISS sur les procédés d'imagerie en recherche cérébrale?

Le langage, l'intelligence, la créativité, les sentiments – et bien d'autres manifestations de notre nature humaine – ne sont possibles que grâce à notre cerveau. Le fait qu'il soit plus qu'un simple organe n'intéresse pas que les médecins. Des psychologues, économistes et juristes s'efforcent aussi d'en expliquer les mystères. Or les méthodes d'investigation dans ce domaine se sont considérablement améliorées depuis quelques années. Les techniques connues sous le nom de procédés d'imagerie, par exemple, permettent aujourd'hui d'observer le fonctionnement du cerveau sans que les sujets d'expérimentation aient à subir d'intervention chirurgicale. Les résultats de ces recherches servent aussi de fondements à des assertions concernant les particularités psychiques de ces personnes – ce qui, du point de vue de TA-SWISS, est un développement de vaste portée qu'il convient de suivre de près. L'étude interdisciplinaire qui fait l'objet du présent résumé vise à contribuer dès son amorce à un large débat sur l'utilisation des procédés d'imagerie dans l'étude du cerveau. TA-SWISS a pu compter pour sa réalisation sur le soutien financier et l'engagement direct de l'Académie Suisse des Sciences Médicales (ASSM).

### En quoi les procédés d'imagerie consistent-ils?

Même ceux qui ne lisent pas les revues médicales ont probablement déjà vu dans des quotidiens des images du cerveau illustrant des articles rendant compte de résultats de la recherche dans ce domaine. Bien qu'il semble souvent s'agir de coupes photographiques, personne n'a eu à se munir d'un scalpel pour les acquérir. Elles sont, en règle générale, «prises» sur des personnes vivantes – c'est-à-dire des patients ou des volontaires ayant accepté de servir de sujets d'expérimentation. Les procédés d'imagerie permettent, en effet, d'obtenir de tels aperçus de l'intérieur du cerveau. Pour cela, des appareils de mesure collectent quantité de données qui sont ensuite traitées par des programmes d'ordinateur très élaborés de manière à pouvoir les visualiser. Ce ne sont, par conséquent, pas des prises de vue photographiques, mais des reconstitutions dépendant des paramètres physiques qui ont été mesurés durant l'expérimentation et de la manière dont l'ordinateur les a analysés. En d'autres termes, de mêmes données peuvent, selon le type d'évaluation, fournir des représentations différentes ou mettre en évidence tels ou tels détails d'un intérêt particulier.

### Quelles sont les possibilités et les limites des procédés d'imagerie?

Les techniques d'imagerie permettent d'étudier aussi bien la structure que le fonctionnement du cerveau. La tomographie assistée par ordinateur (TAO), appelée aussi tomographie assistée par ordinateur (TAO), et la

tomographie par résonance magnétique (TRM), appelée plus couramment imagerie par résonance magnétique (IRM), qui est la plus performante, mais aussi techniquement plus compliquée à mettre en œuvre, sont aujourd'hui largement utilisées pour confirmer ou infirmer des craintes de tumeur ou d'hémorragie cérébrales. Les techniques les plus importantes pour l'étude de l'activité du cerveau sont la tomographie par émissions de positrons (TEP) et la tomographie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Toutes deux servent à mieux comprendre les processus métaboliques cérébraux. Mais elles montrent aussi les limites de l'imagerie cérébrale. En effet, quelles connaissances utiles, par exemple, à la pédagogie, au marketing ou au jugement des personnes passibles d'une peine pénale peut-on en attendre? Ce ne sont en l'occurrence pas les mesures en soi qui sont sujettes à controverse, mais la question de savoir dans quels cas il peut être autorisé de faire état des particularités individuelles qu'elles sont à même de révéler.

### Que peut-on faire?

L'utilisation des procédés d'imagerie dans la recherche sur le cerveau peut, en effet, mettre au jour des particularités propres aux individus examinés. Or le savoir qui en résulte est susceptible d'avoir de lourdes conséquences pour eux et aussi de modifier la manière dont ils sont perçus par autrui. Afin que ce risque soit réduit au minimum et qu'il ne mette ainsi pas en danger l'existence même de la recherche sur le cerveau et son indéniable utilité, les auteurs de l'étude de TA-SWISS ont, entre autres conseils, formulé les recommandations suivantes:

- Élucider au préalable la question avec les patients et les sujets d'expérimentation. Étant donné que l'on ne peut exclure que des expériences sur le cerveau donnent lieu à des révélations fortuites et perturbatrices sur le plan psychique pour ceux qu'elles concernent, il est impératif que les personnes qui vont s'y soumettre soient mises au courant du but poursuivi et de ses possibles conséquences pour elles. Ce n'est, en effet, qu'en étant bien informées qu'elles peuvent décider des résultats qu'elles aimeraient connaître.
- L'assurance qualité. Celle-ci devrait englober non seulement les gens et les institutions qui font appel aux procédés d'imagerie, mais aussi l'appareillage. Seuls des utilisatrices et des utilisateurs compétents et conscients des possibilités et des limites de ces outils d'investigation peuvent s'en servir sans danger et traiter de manière responsable les connaissances qu'ils permettent d'acquérir.
- Cadre juridique. Les résultats de l'étude soulignent la nécessité d'une réglementation de la recherche sur l'être humain qui soit uniforme dans tout le pays. C'est précisément ce que prévoit le projet de loi fédérale en la matière, lequel accorde, comme il se doit, beaucoup d'attention à la protection de la personnalité.

## Voir le cerveau en train de travailler

Tous les procédés d'imagerie relèvent du même principe: mesurer un très grand nombre de paramètres et en obtenir des représentations visuelles en soumettant les données enregistrées à de longs et savants calculs. Ils servent à montrer avec toujours plus d'évidence comment notre organe de la réflexion et de la pensée est structuré et comment il fonctionne. Dans l'exploration de la fonction cérébrale, les images qu'ils fournissent apportent d'utiles éclaircissements – par exemple en permettant de déterminer quelles sont les régions du cerveau particulièrement actives lorsque quelqu'un ment, reconnaît un visage ou résout un problème mathématique.

Au nombre des procédés d'imagerie figurent diverses techniques ayant toutes pour caractéristique de permettre d'observer ce qui se passe dans le cerveau. Les vues qu'elles fournissent ne sont toutefois pas directes, mais des reconstructions s'affichant sur l'écran d'un ordinateur. En d'autres termes, ces images ne sont pas livrées par une caméra, mais calculées à partir d'un nombre énorme de paramètres mesurés et enregistrés par des appareils ultrasensibles de haute technicité et par conséquent fort coûteux. Ils ont pour la plupart été conçus à l'origine pour le diagnostic clinique, par exemple de tumeurs cérébrales même très petites. Depuis la moitié des années 1990, les procédés d'imagerie sont aussi de plus en plus utilisés pour étudier le cerveau de personnes saines. Il s'agit de sujets d'expérimentation volontaires acceptant de se coucher dans un tomographe et d'y exécuter une tâche déterminée pendant que les scientifiques qui effectuent la recherche observent à

l'écran quelles sont les zones du cerveau qu'elle active.

Le présent chapitre expose brièvement quelques-unes, parmi les principales, de ces techniques d'investigation (voir aussi le «Tableau des procédés d'imagerie utilisés dans la recherche sur le cerveau»). La tomographie par résonance magnétique est entre toutes celle qui permet

d'étudier le plus précisément la structure du cerveau vivant. Sont aussi décrites trois techniques servant en sciences neuronales à l'exploration de la cognition. Le terme de cognition désigne en psychologie les facultés cérébrales telles que l'attention, la mémoire, le langage, la capacité d'apprendre et de juger, celle de résoudre des problèmes dans lesquels des sentiments ou des facteurs engendrés par des circonstances exté-

rieures – le stress par exemple – peuvent jouer un rôle.

C'est, en recherche sur le cerveau, un vieux phénomène que de vouloir élaborer des méthodes basées sur des mesures précises pour déterminer les traits de caractère des individus. Le premier encadré relate l'un des plus célèbres exemples qu'en donne l'histoire des sciences.

## La cartographie du cerveau – une vieille histoire

Ce n'était pas la première fois que son cerveau devait faire la une des journaux. En l'occurrence, cela fut aussi dû à la méthode choisie pour examiner cet organe de la réflexion hors du commun, car on y recourt rarement pour des personnalités décédées depuis longtemps. Elle sert en effet plutôt à la médecine moderne à jeter, si l'on ose dire, des coups d'œil dans le cerveau de personnes vivantes. Mais dans le cas qui nous occupe, le cerveau mort en question était des plus particuliers puisqu'il s'agissait de celui de Carl Friedrich Gauss, l'un des plus célèbres mathématiciens de tous les temps.

Gauss mourut le 23 février 1855 à près de 78 ans. Le lendemain, son cadavre fut disséqué, son cerveau retiré et il fut procédé à un moulage en plâtre de l'intérieur de sa boîte crânienne. Son cerveau fut ensuite préparé pour la conservation, pesé – 1 492 grammes –, placé dans un récipient de verre rempli d'une solution alcoolisée et remis à l'Institut de physiologie de l'Université de Göttingen, où le défunt avait assumé la fonction de directeur de l'observatoire astronomique. Le prélèvement de cet organe avait été autorisé à la demande du physiologiste Rudolf Wagner, qui pensait que les sciences naturelles seraient un jour capables de déterminer la génialité en fonction de certaines particularités cérébrales. Son idée n'était pas nouvelle en soi, mais elle marqua le début de l'intérêt systématique de chercheurs renommés pour le cerveau des personnes surdouées. Certes, l'on avait de même déjà supposé auparavant que le siège de la personnalité se trouvait dans cet organe, mais l'objet de prédilection des recherches n'était pas jusqu'alors le cerveau lui-même, mais le crâne – qui, d'une certaine façon, en constitue la surface. Cette étude du caractère d'après les formes de la tête se fit connaître sous le nom de phrénologie. À l'apogée de son enseignement, la surface crânienne était subdivisée en 35 «organes phrénologiques» à chacun desquels l'on rattachait une caractéristique de la personnalité, comme l'attachement, la minutie ou l'esprit analytique. Donc en quelque sorte, une localisation des traits de caractère par le biais des os.

Les techniques d'investigation modernes permettent des observations plus approfondies que cette caractérisation superficielle. Lorsque le cerveau de Gauss fut glissé à Göttingen dans un appareil IRM le 25 novembre 1998, il ne fallut à ce tomographe à résonance magnétique que très peu de temps pour constituer 526 fichiers de données pouvant être visualisés sous forme de coupes transversales. L'intention n'était cependant plus cette fois-ci de localiser le génie dans le cerveau du célèbre mathématicien. En effet, aucun lien probant entre des particularités cérébrales et la génialité n'ayant jamais pu être établi, cette orientation de la recherche avait été définitivement abandonnée au milieu du XXe siècle. À l'inverse des cerveaux d'autres personnalités – celui de Lénine par exemple, qui fut débité en milliers de tranches ultraminces, ou celui d'Einstein, qui fut découpé en 240 petits blocs –, l'organe de la réflexion de Gauss se vit ainsi épargner les interventions destructrices des investigations sur le cerveau des élites. L'«éminent objet» fut, au contraire, examiné en 1998 avec le maximum de précautions dans le but de recueillir le plus grand nombre possible de données le concernant et de les mémoriser sous forme numérique pour le long terme. L'examen terminé, il fut soigneusement remplacé dans son bocal, dont on renouvela la solution de conservation et où il devrait à nouveau être à l'abri pour des décennies.

À la lumière des connaissances actuelles sur le cerveau, il est par trop facile de taxer l'exemple historique de la phrénologie d'hérésie scientifique! Il devrait plutôt pousser à prendre quelque recul critique par rapport aux récentes acquisitions de la recherche dans ce domaine. Les résultats «spectaculaires» des investigations par les procédés d'imagerie en particulier incitent à des conclusions trop hâtives qu'il y aurait lieu d'évaluer consciencieusement en vue de déterminer celles qui sont fondées et celles qui ne le sont pas.

## La tomographie par résonance magnétique (TRM ou IRM)

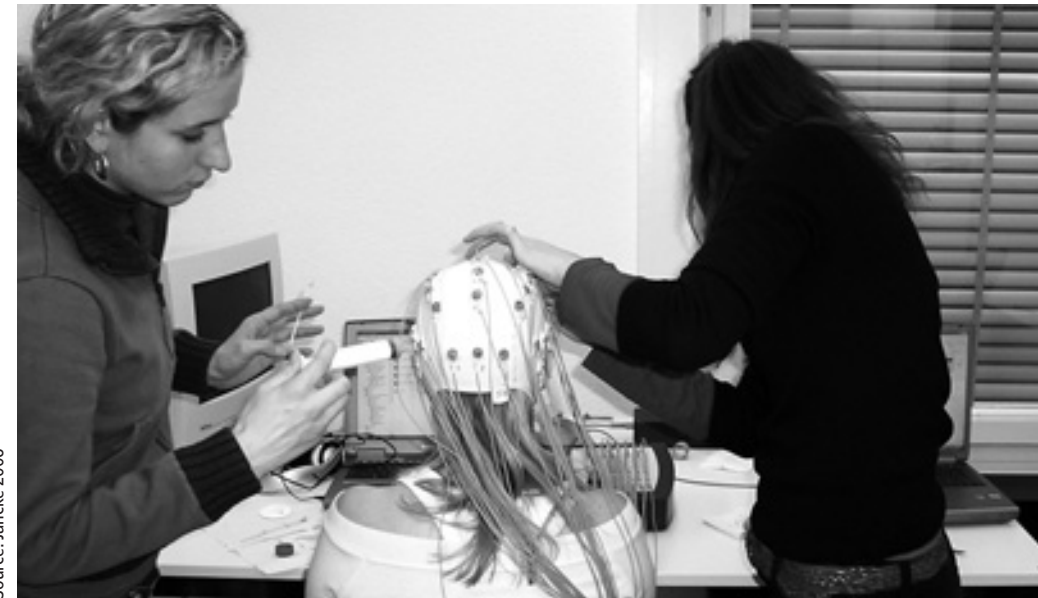
Souvent appelée IRM (abréviation d'imagerie par résonance magnétique), la tomographie basée sur cette technologie a été mise au point dans les années 1980. Elle sert à mesurer les signaux générés dans le corps par un champ magnétique extrêmement fort en combinaison avec des ondes radio. L'unité de mesure permettant de quantifier l'intensité de champs magnétiques aussi élevés est le tesla. Or les appareils IRM utilisés actuellement travaillent avec des intensités de champ de 1,5 à 3 teslas, soit de l'ordre de 50 000 fois celle du champ magnétique terrestre, et ceux de la prochaine génération construits pour l'expérimentation seront plus puissants encore.

Lorsqu'une personne est exposée à un champ magnétique d'une telle intensité, les noyaux des atomes d'hydrogène au sein de son corps s'orientent dans une certaine direction. Or l'hydrogène est un composant de tous les tissus humains. L'on recourt en outre à des ondes radio pour induire ces noyaux à émettre des signaux. Ceux-ci dépendent, entre autres facteurs, de la mesure dans laquelle le champ magnétique appliqué a éloigné leurs sources, donc les noyaux, de leur position originelle. Ces signaux sont captés par un appareil de mesure et les données résultantes transmises à un ordinateur qui calcule, à l'aide de modèles mathématiques très élaborés, la répartition spatiale et les propriétés magnétiques des noyaux d'hydrogène ainsi activés lors de l'expérimentation. Les informations obtenues par ce biais permettent à leur tour d'établir des images très détaillées du tissu étudié. Des structures de seulement 1 à 2 millimètres peuvent être rendues visibles.

Dans l'état actuel des connaissances, les intensités des champs magnétiques appliqués aujourd'hui sont inoffensives pour le corps humain. Qu'il en aille de même des champs magnétiques encore plus élevés, qui seront peut-être utilisés dans le futur pour des examens par IRM, n'est pas prouvé. Quoiqu'il en soit, un risque existe déjà pour certaines personnes: les dispositifs comprenant des composants métalliques (comme les implants ou les stimulateurs cardiaques) sont, sous l'action d'un fort champ magnétique, parcourus par d'intenses courants électriques et sont dès lors susceptibles de devenir très chauds, ce qui peut être à l'origine de blessures graves. Il est par conséquent du devoir du personnel médical spécialisé d'éviter la concrétisation de ce risque en examinant soigneusement son cas particulier avec toute personne allant au-devant d'une IRM. Jusqu'à présent, il n'a pas été démontré non plus que les ondes radio aient un quelconque effet nocif. Cependant, comme pour toutes les autres utilisations des ondes magnétiques, au nombre desquelles figure le téléphone mobile, une controverse existe quant à l'innocuité à long terme de ce type de rayonnement.

## L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf)

Au début des années 1990, le procédé d'imagerie par résonance magnétique (TRM ou IRM) fut développé au point de permettre d'explorer non seulement la structure du cerveau, mais aussi son fonctionnement. D'où le nom d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Celle-ci est devenue l'une des principales méthodes d'investigation des neurosciences cognitives. Le principe de mesure est le même que celui de l'IRM, mais les appareils sont réglés de manière à capter d'autres signaux. Ce ne sont



Source: Jäncke 2006

Tableau (non exhaustif) des procédés d'imagerie utilisés dans la recherche sur le cerveau

Modalité d'imagerie	Recherche sur les structures du cerveau	Recherche sur les fonctions du cerveau	Plus petite structure reconnaissable	Stimulation externe
TRM (IRM)	Oui	Non	1 mm	Champ magnétique et ondes radio
IRMf	Non	Oui	1 mm	Champ magnétique et ondes radio
TEP	Non	Oui	2 mm	Marqueurs radioactifs
EEG	Non	Oui	10 mm	Aucune <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Ce procédé mesure les courants électriques générés par le cerveau lui-même.

**«Au niveau de la recherche, nous ne parvenons (cependant) pas à expliquer totalement ce qu'est l'esprit. L'être humain ne se résume pas à son cerveau.»**

Michael Hagner, chercheur en sociologie des sciences

plus les noyaux des atomes d'hydrogène qu'ils repèrent, mais un important composant du sang, l'hémoglobine. Celle-ci assure le transport de l'oxygène entre les poumons et les endroits où cet élément est nécessaire au métabolisme, telles les cellules du cerveau. En cédant son oxygène, l'hémoglobine change ses propriétés magnétiques. Et c'est de ce phénomène dont se sert l'IRMf. Ainsi, les tomographes faisant appel à cette technologie mesurent dans le cerveau la répartition de l'hémoglobine chargée en oxygène et celle de l'hémoglobine qui ne l'est pas.

Tirer des déductions sur le fonctionnement du cerveau à partir de ses processus métaboliques est possible du fait que ses régions particulière-

ment actives reçoivent beaucoup de sang oxygéné. C'est de cette façon que l'IRMf permet de déterminer quelles sont celles mises à contribution par le langage, la perception visuelle ou auditive, le mouvement ou la mémoire. L'on a aussi déjà réussi à étudier par ce biais les processus déclenchés par certaines humeurs des sujets d'expérimentation. La force probante de ces résultats est toutefois quelque peu diminuée en raison du caractère indirect des mesures. La circulation de l'oxygène dans le cerveau n'est, en effet, qu'une conséquence de l'activité des cellules et non pas cette activité elle-même. Le rapport entre celle-ci et la teneur en oxygène du sang est néanmoins jugé suffisant pour assurer le bien-fondé des déductions.

Se trouver en position couchée dans le «tunnel» (en réalité, l'anneau détecteur) assez étroit du tomographe dans lequel on les a glissés peut générer chez les patient(e)s ou chez les sujets d'expérimentation des sentiments désagréables, voire de la claustrophobie. Ce problème ne se pose généralement pas lors d'examens cliniques de courte durée. Dans les expériences faites en recherche cognitive, en revanche, la séance peut durer jusqu'à une heure et demie. Les chercheurs et les chercheuses doivent donc, sous peine de fausser les résultats, savoir prendre en compte les éventuels sentiments d'anxiété dont la seule origine sont les conditions d'expérimentation.

### Tomographie par émission de positrons (TEP)

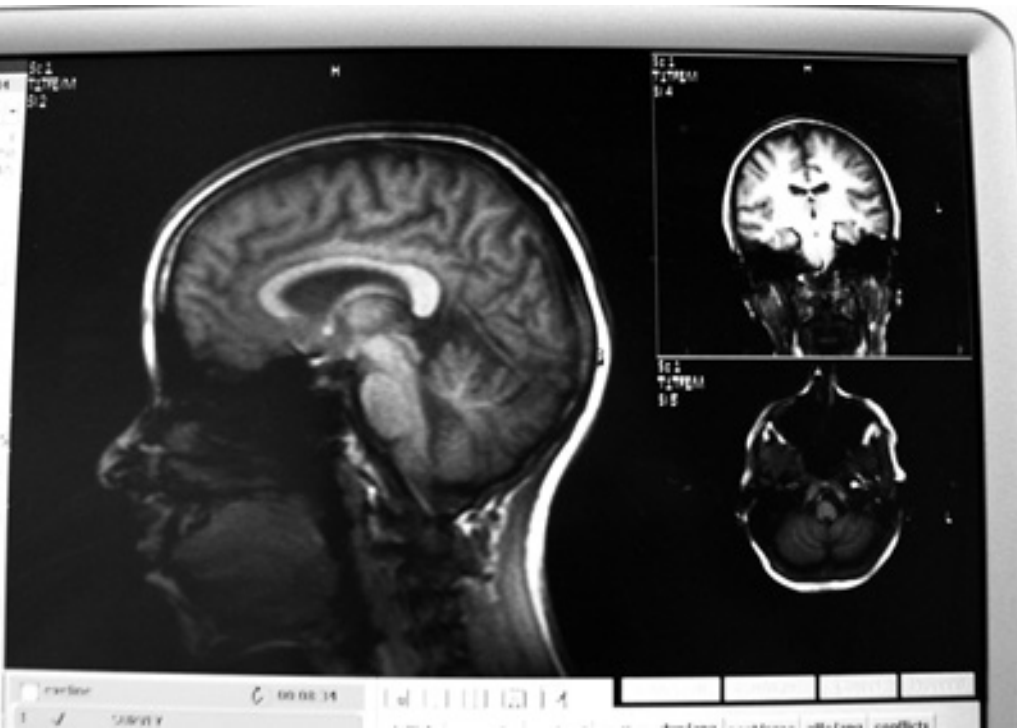
La TEP permet de détecter les activités métaboliques tissulaires. Pour cela, l'appareil mesure les signaux émis par des traceurs radioactifs. Il peut s'agir en l'occurrence de variantes instables (isotopes) de molécules chimiques naturelles, d'eau ou d'oxygène par exemple, ou alors de molécules spécifiquement produites pour la recherche sur le cerveau et créées de manière à ce qu'elles en marquent des régions déterminées. Ces radioéléments sont introduits par injection ou par inhalation dans l'organisme des sujets d'expérimentation juste avant de procéder aux mesures. Acheminés par l'appareil circulatoire, ils atteignent le cerveau en quelque 30 secondes. Leur décroissance radioactive engendre un rayonnement qui est mesuré par l'appareil. Les données ainsi recueillies peuvent servir à calculer aussi bien des images en coupe transversale que des vues tridimensionnelles du tissu dans lequel le traceur a circulé. Cette technique permet d'identifier les structures du cerveau de plus de 2 millimètres.

Le recours à la radioactivité exige impérativement la prise de mesures de sécurité. Ainsi, l'on veille à ce que la dose de rayonnement soit aussi faible que possible. Et l'on n'utilise généralement pas de substances qui pourraient s'accumuler dans le corps, la préférence étant donnée aux molécules dont le temps de demi-vie est court. Pour les recherches sur des personnes saines, l'on ne se sert que d'éléments ayant la plus faible radiotoxicité possible. Il existe en Suisse, tant en ce qui concerne les personnes examinées que les intervenants, des normes définissant les doses maximales d'irradiation admises. Les consignes sont particulièrement sévères pour ce qui est des femmes de moins de 45 ans. Sauf exception, les enfants ne sont soumis à une TEP que si une raison clinique le justifie.

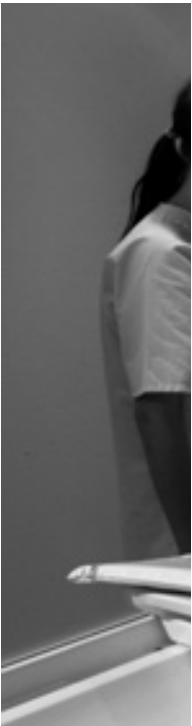
### L'électroencéphalographie (EEG)

Le cerveau « au travail » produit des signaux électriques en permanence du fait que la transmission des stimuli entre les cellules nerveuses (neurones) se fait par voie électrique. Ces signaux peuvent être captés par le biais d'électrodes fixées sur le cuir chevelu et visualisés à l'aide d'appareils très sensibles. De telles mesures de l'activité cérébrale s'effectuent depuis des décennies, si bien que l'enregistrement des «courants cérébraux» par électroencéphalographie (EEG) est devenu un sûr moyen de diagnostic.

Les signaux qui sont captés à la surface du crâne ne permettent toutefois qu'une détermination indirecte de la région cérébrale qui les a déclenchés. Et ce n'est que depuis quelques années que l'EEG a été affinée au point d'en faire une méthode permettant aussi de dire à quels endroits du cerveau une certaine activité se manifeste. La condition nécessaire à cette loca-



Source: Jäncke 2006



lisation est l'utilisation d'un grand nombre d'électrodes (plusieurs douzaines). Les valeurs qu'elles mesurent sont traitées par un ordinateur à l'aide de logiciels très performants et spécifiquement conçus pour fournir une image de la répartition des activités cérébrales enregistrées. La précision croissante de ces reconstitutions fait de l'EEG une technique très prometteuse.

Or l'un des gros avantages de l'EEG est d'être d'une utilisation pour ainsi dire exempte de risques. Elle mesure, en effet, des signaux qui sont produits par le cerveau lui-même et donc sans qu'une excitation d'origine externe – qu'il s'agisse de rayonnements ou de produits chimi-

ques – soit nécessaire. La seule précaution à prendre concerne la sécurité d'emploi des appareils de mesure. Comme pour tout autre équipement électronique médical utilisé dans l'examen direct de patients, il doit être exclu que quiconque puisse être blessé en recevant des décharges électriques par inadvertance.

### D'une grande utilité clinique

**Les procédés d'imagerie sont devenus des instruments indispensables à la médecine. Ils permettent en pratique clinique la pose de diagnostics fiables des affections cérébrales et la localisation exacte des tumeurs, même lorsqu'elles sont petites,**

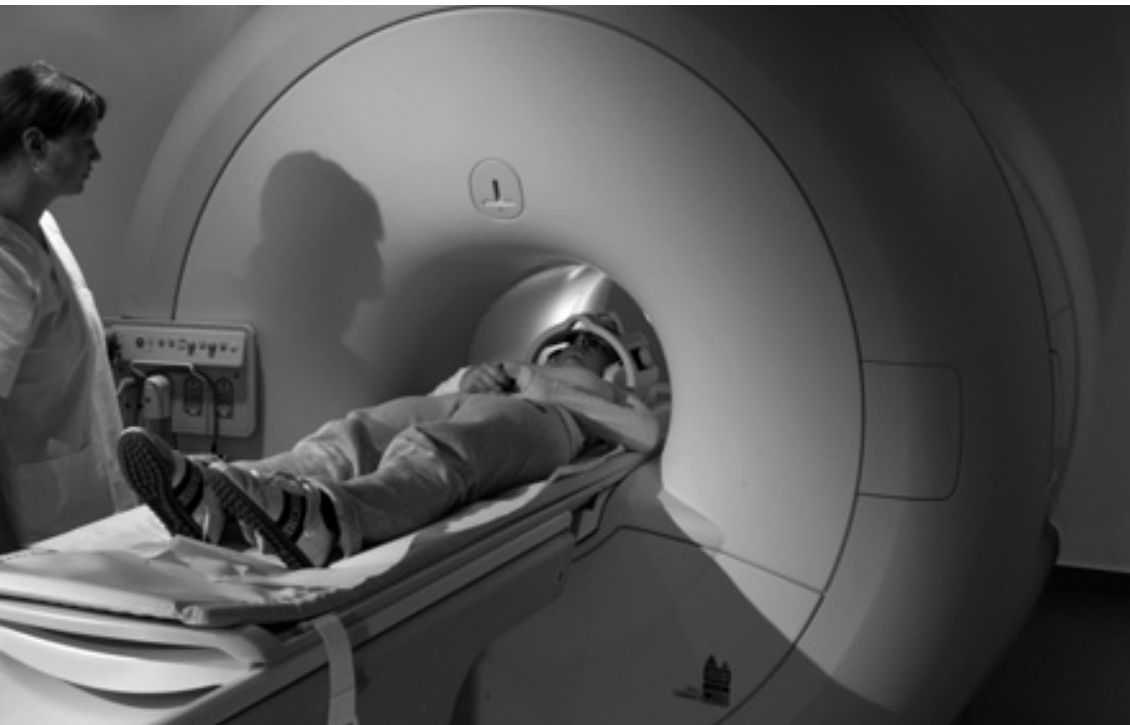
**ainsi qu'une très grande précision opératoire en chirurgie du cerveau.**

Les examens du cerveau par les procédés d'imagerie ont trouvé un large éventail d'applications dans la pratique de la médecine moderne. C'est la raison pour laquelle les appareils très coûteux qui les permettent sont présents évidemment dans les cliniques universitaires, mais aussi dans les hôpitaux régionaux. Ainsi, une centaine d'appareils IRM sont actuellement en service en Suisse. Il en résulte que, proportionnellement au nombre d'habitants, notre pays est l'un des mieux équipés du monde dans ce domaine. Ces tomographes sont d'une très grande utilité, surtout dans le diagnostic et l'examen approfondi des affections cérébrales, ainsi qu'en neurochirurgie. En raison de la large et toujours croissante expansion de la maladie d'Alzheimer, l'étude de TA-SWISS s'intéresse également à la mesure dans laquelle les procédés d'imagerie pourraient contribuer à améliorer la situation des personnes qui en souffrent.

### Neurochirurgie

Les opérations du cerveau figurent parmi les interventions chirurgicales les plus risquées. Dans certains cas, l'ablation d'une tumeur dans cet organe n'est même pas envisageable du fait du trop grand risque que sa localisation ferait courir d'endommager des parties essentielles du cerveau au cours de l'opération. C'est que, grâce aux procédés d'imagerie – l'IRM en particulier – les médecins peuvent aujourd'hui déterminer avec précision quelle est la grosseur de la tumeur et l'endroit exact où elle se trouve. Cela est important pour la préparation d'une éventuelle intervention et pour l'évaluation des risques qu'elle présente. Il est aussi possible d'utiliser les données du patient fournies par la tomographie pour tester virtuellement – donc à l'écran – plusieurs variantes de l'opération, puis de choisir celle qui lèsera le moins de tissu sain.

Le développement le plus récent permet d'aller encore plus loin. La neurochirurgie assistée par imagerie soutient le chirurgien non seulement



Source: Philips Medizin Systeme GmbH

**«Il est totalement absurde de vouloir déduire des seules images fournies par les tomographes à résonance magnétique nucléaire si un message publicitaire est accrocheur ou non.»**

Ernst Pöppel, chercheur en neurosciences

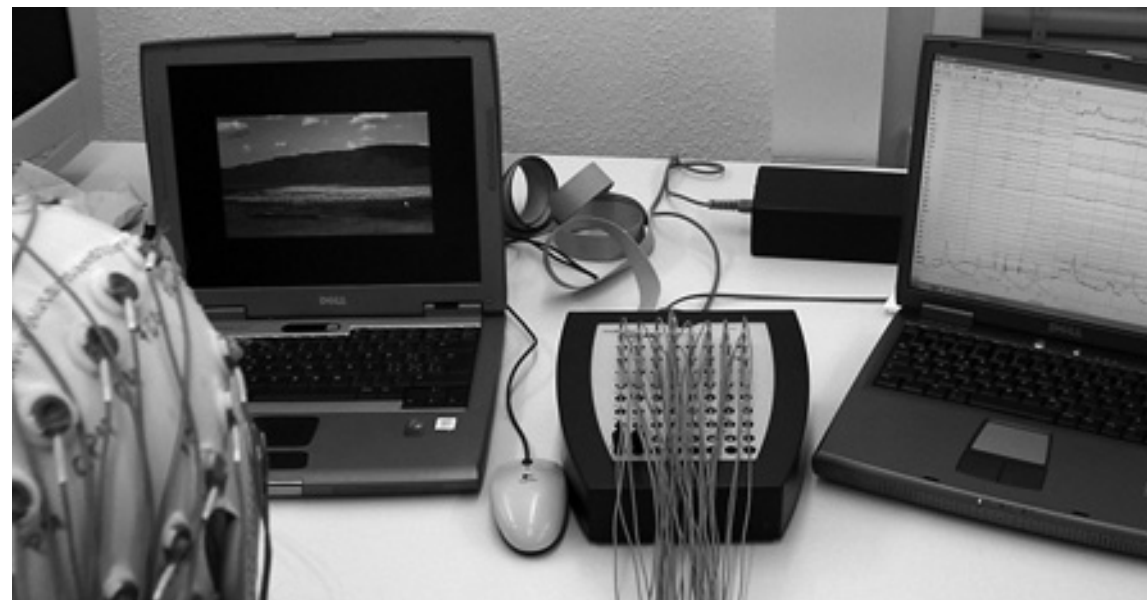
avant, mais encore pendant l'intervention. Ainsi, des données saisies lors d'une IRM antérieure peuvent être traitées pendant qu'il opère de manière à lui fournir des informations supplémentaires aussi précises que possible. Il peut aussi faire appel à un système IRM spécial générant des images en temps réel. Et lorsque le recours à la chirurgie classique est jugé trop risqué, des procédés d'imagerie peuvent encore parfois contribuer au traitement. La technique dite du couteau (ou bistouri) gamma, par exemple, permet de bombarder les tumeurs bien délimitées, ainsi que les malformations des vaisseaux sanguins, avec une très grande précision à l'aide de rayons gamma focalisés. Ces faisceaux n'atteignant pour ainsi dire que le volume à irradier, les parties saines du cerveau restent indemnes. Cela permet d'utiliser des doses de rayonnement plus élevées que dans le cas contraire et, par conséquent, d'accroître les chances de réussite du traitement...

### L'exemple de la maladie d'Alzheimer

La proportion des personnes du 3<sup>e</sup> et du 4<sup>e</sup> âges dans la population des pays industrialisés continue d'augmenter. Cela implique aussi une augmentation de la fréquence des maladies liées au vieillissement. Tel est particulièrement le cas des pathologies neurodégénératives. La dégradation des capacités intellectuelles qu'elles entraînent place la société devant un grand défi. Ce d'autant plus qu'elles n'affectent pas que les personnes qui en souffrent, mais également leur entourage. S'occuper de ces malades et les soigner requiert beaucoup de dévouement de la part de leurs proches et engendre des coûts très élevés dès que ceux-ci ne peuvent plus assumer. C'est probablement là une des raisons pour lesquelles la recherche dans ce domaine s'est considérablement intensifiée depuis une dizaine d'années.

La maladie d'Alzheimer est la démence la plus répandue. Elle affecte aujourd'hui quelque 70 000 personnes en Suisse et la projection pour 2020 est de 113 000. Cependant, les médicaments actuellement disponibles pour la «traiter» sont juste capables d'en ralentir quelque peu l'évolution. Quant à la recherche dans ce domaine, elle vise d'abord à permettre le diagnostic précoce et fiable de cette maladie et à mieux comprendre les causes et les processus de son développement dans le tissu cérébral. Ce n'est qu'une fois cette étape franchie qu'il deviendra possible d'élaborer des substances qui – après que d'autres études auront montré qu'elles sont efficaces et sûres – pourront être homologuées comme médicaments spécifiques. Les procédés d'imagerie sont mis à contribution dans tous les aspects de cette recherche.

Il ressort de l'exemple de la maladie d'Alzheimer que le diagnostic précoce reste de peu d'utilité aussi longtemps qu'il n'existe pas de thérapie efficace. Il fait craindre par ailleurs un vaste recours à des méthodes d'examen onéreuses alors que les actuels tests de la mémoire permettent eux aussi un diagnostic précoce. Vouloir le poser encore plus tôt – soit avant l'apparition de tout symptôme – pourrait être psychologiquement difficile à supporter pour les personnes concernées. Une telle éventualité nécessiterait en tout cas la mise à disposition d'un conseil psychologique qualifié. Nul doute qu'à long terme, les procédés d'imagerie deviennent un précieux instrument de la recherche thérapeutique pour combattre les démences, mais il n'y a pas lieu pour autant de surestimer leur importance actuelle dans ce domaine. En revanche, ces techniques ont déjà plus que prouvé leur utilité pratique dans le diagnostic et le traitement d'autres maladies neurologiques, comme la sclérose en plaques.



Source: Jäncke 2006

### La psyché suscite encore bien des interrogations

**Lire les pensées d'autrui est l'un des thèmes de prédilection des romans de science-fiction. La recherche sur le cerveau rendra-t-elle la chose effectivement possible? En tout cas pas dans un avenir proche. Mais il est d'autres applications qui, bien que moins spectaculaires, soulèvent aussi la controverse.**

Si l'on entend par lire les pensées être à même de «consulter» les réflexions et les impressions d'autres personnes comme on accède aux images ou aux textes mémorisés dans un ordinateur ou mis à disposition sur la Toile, il n'y a guère de probabilité de voir ce scénario se concrétiser, même à l'aide des techniques de recherche les plus avancées. Certes, d'énormes

quantités de données sont mémorisées dans notre cerveau, mais elles n'acquiescent de signification pour nous que lorsqu'il les traite. Or il accomplit ce travail selon le principe de la répartition des tâches. Pour prendre un exemple, lorsque quelqu'un éprouve des sentiments de peur, certaines régions de son cerveau sont particulièrement actives. Et cela, quelles que soient les situations qui les suscitent – d'ailleurs très différentes d'une personne à l'autre. Il n'empêche qu'en règle générale, les zones qui réagissent sont les mêmes chez tous les êtres humains. Ces deux constatations sont le point d'ancrage de toutes les recherches sur le cerveau au moyen des techniques d'imagerie fonctionnelle. Celles-ci peuvent, en effet, montrer lors d'expérimentations quelles sont les régions cérébrales particulièrement sollicitées en telle ou telle circonstance. Les trois sous-chapitres qui suivent présentent chacun des





domaines de la recherche où l'on espère que les procédés d'imagerie apporteront de nouvelles certitudes concernant la psyché humaine.

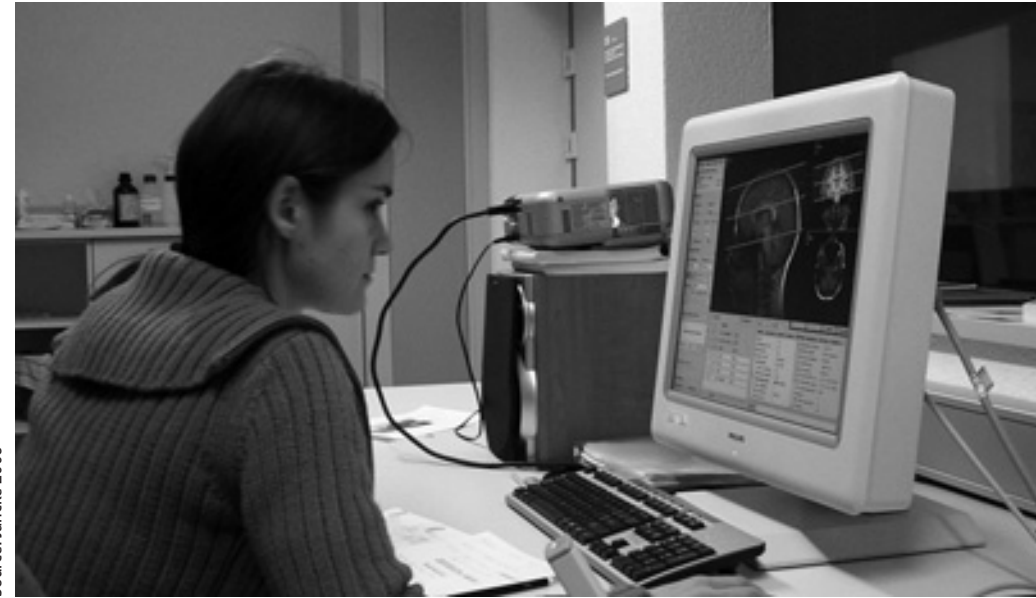
### Neuroéconomie et neuromarketing

L'être humain – même en matière d'économie – ne se conduit pas toujours de façon rationnelle. L'«homo economicus» qui, après avoir soupesé les différentes possibilités commerciales qui s'offrent à lui, se décide toujours pour la plus avantageuse, est un cas idéal sorti tout droit des livres d'économie. Dans la vie courante, le comportement des gens est aussi influencé par leurs sentiments, notamment d'insécurité ou de confiance. La neuroéconomie s'efforce de développer une théorie globale de la prise de décision qui tienne compte de ces facteurs. Il s'agit d'un domaine de la recherche qui, ces cinq dernières années, a connu un nouvel essor grâce aux procédés d'imagerie. On y recrute des volontaires acceptant de se livrer à des jeux de situations dans lesquels ils interagissent avec d'autres participants ou avec un ordinateur. L'activité de leur cerveau est mesurée tout au long par IRMf ou TEP. De telles simulations ont déjà été réalisées pour étudier les stimuli de la coopération, du comportement désintéressé, de la sympathie, de la prise de décision en situation incertaine ou risquée. Le but de ce type de recherches n'est pas d'investiguer le comportement personnel des sujets d'expérimentation en tant qu'individus, mais de répondre à des questions fondamentales concernant le comportement humain. Les résultats contribuent en outre à élargir, grâce à la grande précision des appareils utilisés, la base de connaissances dans un domaine auquel la recherche n'avait pour ainsi dire accès auparavant que par le biais de l'observation extérieure.

Le neuromarketing a un lien beaucoup plus direct avec la pratique. Les médias y trouvent une source récurrente et bienvenue d'articles sensationnels. La publicité nous séduira-t-elle dans le futur de manière encore plus subtile qu'aujourd'hui? Perdrons-nous jusqu'au contrôle de notre comportement de consommateurs? De telles craintes n'ont rien de surprenant si l'on sait que quelques compagnies se servent déjà des procédés d'imagerie pour savoir quels types de campagnes publicitaires ou de présentation des marchandises provoquent, sans qu'ils en soient conscients, les réactions les plus émotionnelles ou les plus rationnelles chez leurs sujets d'expérimentation. Et de telles investigations ne sont pas effectuées que sur mandat d'entreprises commerciales, mais aussi de partis politiques. Aux États-Unis, des citoyens ont déjà lancé sous le nom de «Commercial Alert» une initiative pour lutter contre cette forme d'influence, car le danger de manipulation des consommateurs ou des électeurs serait par trop grand. Les études menées jusqu'à présent en neuromarketing montrent pourtant une toute autre réalité: il n'existe à ce jour aucun exemple d'une recherche en neuro-imagerie ayant mené à des conclusions fiables au sujet du comportement d'achat.

### Pédagogie

L'on reproche souvent à la pédagogie que ses connaissances reposent sur des opinions et non pas sur des données scientifiquement acquises. Quelques spécialistes des neurosciences proposent par conséquent d'accorder plus d'attention aux résultats récents de la recherche sur le cerveau, alléguant que les procédés d'imagerie fourniraient des données objectives et précises susceptibles de contribuer à l'amélioration des méthodes d'enseignement. Et le fait est que ces procédés sont actuellement largement mis en



Source: Jäncke 2006

**«La seule chose pire que d'avoir des gens qui réussissent à lire vos pensées par imagerie cérébrale est probablement d'avoir des gens qui ne réussissent pas à lire vos pensées par imagerie cérébrale et qui croient ce qu'ils lisent.»**

Martha Farah, neuropsychologue

oeuvre pour étudier les modalités et les conditions d'apprentissage chez l'être humain. Les résultats de ces investigations confirment souvent le savoir de la psychologie et ne donnent dès lors pas motif à un chamboulement des méthodes pédagogiques. Ou alors ils portent sur les processus d'apprentissage fondamentaux du cerveau, sans perspective d'applications concrètes, dans l'enseignement scolaire par exemple. Il existe même un danger de diffusion trop hâtive de nouveaux concepts pédagogiques qui, dans le contexte actuel, politiquement sensible et déjà suffisamment stressé par les réformes en cours, causeraient plus de mal que de bien.

Les techniques d'imagerie ont cependant déjà apporté quantité de connaissances dont les effets devraient se faire sentir à long terme. Les deux plus importantes sont sans doute que le cerveau reste « malléable », et donc susceptible d'adaptation, non seulement durant l'enfance, mais tout au long de la vie, et que l'apprentissage laisse des traces non seulement sous forme de signaux nerveux, mais également dans la structure même du cerveau. Ainsi, la pratique intensive d'un instrument de musique entraîne des modifications de l'anatomie cérébrale. De même, une psychothérapie influe sur les régions du cerveau activées par certains stimuli externes. Elle a donc des effets plus profonds qu'on ne le supposait tout récemment encore.

Les neurosciences peuvent aussi donner de nouvelles impulsions à la compréhension des causes des difficultés d'apprentissage tant chez les enfants que chez les adultes et à l'amélioration de la situation des personnes qui en pâttissent. Il est, par exemple, de grande utilité de savoir si les enfants qui ont des problèmes de lecture (dyslexie) présentent un retard de développement momentané ou de réels déficits. En

résumé, joint aux connaissances pédagogiques, le savoir issu de la recherche en neurosciences devrait à l'avenir permettre de prendre des mesures plus appropriées pour aider les personnes souffrant de troubles d'apprentissage.

### Droit pénal

Qu'advierait-il si nous ne pouvions assumer la responsabilité de notre conduite parce que ce ne serait pas nous, en tant que personnes agissant consciemment et intentionnellement, mais « lui », c'est-à-dire notre cerveau en tant que tel, qui déciderait ce que nous devons faire – et que nous obéissions faute de pouvoir faire autrement? Cette manière de voir, qui est celle de quelques chercheurs sur le cerveau, pourrait remettre fondamentalement en question notre droit pénal étant donné qu'il repose pour l'essentiel sur le principe que l'être humain est responsable de ses actes. Des circonstances atténuantes peuvent certes être prises en considération lorsque quelqu'un doit répondre d'un délit devant un tribunal. Ainsi, des troubles psychiques ou des circonstances extérieures mènent dans certains cas à considérer que l'acte incriminé n'est pas entièrement imputable à son auteur. Mais si le libre arbitre devenait effectivement illusoire, il faudrait renoncer à toute condamnation. L'on ne devrait toutefois pas en arriver là. En effet, d'éminents représentants des neurosciences, du droit pénal et de la philosophie ont d'ores et déjà amplement débattu de ce thème – sous l'impulsion non négligeable des résultats de la recherche sur le cerveau. Or même les plus récents ne permettent pas de conclure que le libre arbitre n'existe pas et que l'être humain ne peut dès lors être tenu pour responsable devant la loi.

Un autre point important en droit pénal est la véracité des dires des accusés et des témoins.

L'aspiration à pouvoir le déterminer sans le moindre doute à l'aide d'un appareil ne date pas d'hier. Les prétendus détecteurs de mensonges ne captent cependant que des signes concomitants, à savoir les symptômes de stress que le fait de mentir peut engendrer. Des expériences sont actuellement en cours pour déterminer dans quelle mesure les procédés d'imagerie permettent de savoir si quelqu'un ment ou ne ment pas. Et l'on a effectivement déjà constaté par IRMf l'activation, en cas de mensonge, de zones du cerveau sollicitées par des efforts de réflexion particuliers, mais pas par la récit de faits ordinaires. Cela ne signifie par pour autant que les salles des tribunaux ou les commissariats de police seront bientôt équipés de détecteurs IRMf. Il n'a d'ailleurs pas encore été vérifié si ces appareils peuvent être « bernés », comme c'est le cas des détecteurs de mensonges classiques. Qui plus est, les circonstances de telles expérimentations sont fort différentes de celles d'une véritable procédure judiciaire.

Lors d'une expérimentation, il a été établi que certaines particularités anatomiques de la région frontale du cortex cérébral sont concomitants d'une tendance prononcée aux comportements criminels. De telles connaissances ont

déjà fait naître l'idée de procéder à des examens du cerveau pour évaluer à quel point un délinquant est dangereux et, par conséquent, quel est le risque qu'il récidive après avoir purgé sa peine. Poussant le scénario à l'extrême, d'aucuns envisagent même la possibilité de recourir un jour aux procédés d'imagerie pour déterminer à temps quels sont les gens enclins au viol et prendre des mesures médicales prophylactiques afin de prévenir le passage à l'acte. De telles projections sont de toute évidence des plus spéculatives et sujettes à polémique – ce d'autant plus qu'il est des psychologues pour douter fondamentalement que les procédés d'imagerie permettent jamais d'arriver à des certitudes concernant les penchants des individus. Quoi qu'il en soit, cela est en tout cas exclu dans l'état actuel des connaissances.

### Les recommandations de l'étude de TA-SWISS

L'équipe qui a réalisé l'étude de TA-SWISS décele un fort potentiel des procédés d'imagerie, notamment pour le diagnostic, la neurochirurgie et la recherche sur le fonctionnement du cerveau humain. Cette dernière suscite toutefois les mêmes réti-

**«Le plus enrageant est que l'on accuse tout aussi obstinément que faussement les chercheurs en neurosciences de tenter de réduire le mental et le psychique au fonctionnement des neurones, si ce n'est même de vouloir les éliminer de leur discours.»**

Gerhard Roth, chercheur en neurosciences



ences que les investigations génétiques parce qu'elle vise elle aussi à saisir le pourquoi de particularités individuelles. Mais contrairement au génie génétique, pour lequel cela est devenu usuel, elle ne suscite aujourd'hui guère de réflexions d'ordre éthique, juridique ou sociétal.

Il est dès lors particulièrement important d'envisager une approche interdisciplinaires de la recherche sur le cerveau. La condition pour pouvoir mieux juger des résultats sensationnels de celle-ci serait de commencer par mener un débat large et objectif à son sujet. Sinon, le danger est que d'aucuns se servent de ses résultats – en les illustrant de suggestives images en cou-

leurs du cerveau – pour faire miroiter des développements aussi spéculatifs que spectaculaires. En attendant, le terme de «neuromythe» a déjà été forgé. L'un des rôles, et non des moindres, du rapport de TA-SWISS «Les procédés d'imagerie dans la recherche sur le cerveau» ainsi que du présent résumé, est de contribuer à ce que ce débat porte sur les faits et non pas sur les mythes. Les recommandations de ses auteurs sont présentées ci-après.

### Une bonne information aux patients et aux sujets d'expérimentation

Le but et les conséquences possibles d'un examen de leur cerveau doivent être expliqués

aux personnes concernées. Pour cela, il faut tenir compte du fait que les patients et patientes et les sujets d'expérimentation ne se trouvent pas dans la même situation. Si l'on a constaté chez une personne des symptômes laissant soupçonner une maladie cérébrale, c'est pour préciser ce diagnostic qu'il est fait appel aux procédés d'imagerie. Dans ce type de cas, la personne devrait être consciente de sa situation et donner son accord en sachant que l'examen peut mener à un résultat pire que celui attendu. Il en va autrement des sujets d'expérimentation qui participent à une recherche sur les fonctions cérébrales. Ces personnes sont généralement en bonne santé. Mais il n'est pas exclu que, lors de l'analyse des mesures de leur activité cérébrale, l'on découvre fortuitement une maladie dont la connaissance les affectera psychologiquement. Un exemple en est donné dans le second encadré. En bref, qu'il s'agisse d'un examen clinique ou d'une expérimentation, la personne qui s'y prête ne peut décider des résultats qu'elle aimerait connaître que dans la mesure où elle est parfaitement informée.

### L'assurance qualité

La quantité de tomographes en service pouvant être employés aussi bien en médecine clinique qu'en recherche sur le cerveau ne cesse d'augmenter en Suisse. Cette croissance se répercute non seulement sur le nombre de personnes qu'ils servent à examiner, mais aussi sur celui des utilisateurs et des utilisatrices. Pour éviter que des gens insuffisamment formés ne travaillent avec de tels appareils, une solide formation technique, tant de base que continue, est indispensable. Dans la recherche sur les fonctions cérébrales, il faut en plus une bonne collaboration interdisciplinaire entre le personnel technique, les médecins et les psychologues afin que l'interprétation des résultats des mesures et les conclusions – souvent de grande portée – qui en sont explicitement tirées soient dignes de confiance. Seuls des utilisatrices et des utilisateurs compétents et conscients des possibilités, mais aussi des limites des méthodes d'expérimentation peuvent se servir de ces instruments de manière sûre et traiter les résultats obtenus de façon responsable. Ces hautes exigences qualitatives concernent aussi les équipements afin d'éviter que des défaillances techniques puissent causer des dommages physiques.



Source: Jäncke 2006

«On peut voir l'activité que suscite la réflexion.»

Wolf Singer, chercheur en neurosciences

## Une expérimentation sans danger au résultat déprimant

Monsieur B., lui-même chercheur enthousiaste du domaine, désirait depuis longtemps voir quelles images un appareil moderne comme un IRM rendrait de son propre cerveau. L'occasion se présente lorsque l'université où il travaillait fit l'acquisition d'un tomographe de ce type. Il n'eut alors pas la moindre hésitation et se mit à disposition pour les tests de ce nouvel appareil – ce qui était en soi une démarche sans danger. À l'issue des mesures d'étalonnage, il fut convié à un entretien par le directeur de l'institut, qui lui montra les résultats sous forme, comme il s'y attendait, de coupes transversales de son cerveau. Mais quelle ne fut pas sa consternation lorsqu'il discerna sur l'une d'elles une tumeur de la grosseur d'une balle de golf. Cette découverte était complètement inattendue pour lui, car il n'avait jamais manifesté le moindre symptôme d'affection cérébrale. Malgré son abattement, il reprit bientôt espoir : peut-être que la lutte contre une tumeur décelée avant tout signe concomitant avait plus de chances de succès. Il accepta alors l'offre que lui avait faite son directeur de l'introduire auprès d'un neurochirurgien. Cela devait avoir pour lui des conséquences financières incalculables.

Monsieur B. et son épouse attendaient un enfant et étaient justement en train d'adapter leurs assurances en conséquence afin que leur jeune famille disposât des ressources nécessaires au cas où lui ou elle en viendrait à ne plus pouvoir travailler pour cause de maladie ou d'accident. Or l'implacable diagnostic était tombé avant que les nouvelles polices ne fussent signées. Qui plus est, Monsieur B. avait appris entre-temps que l'ablation de sa tumeur comportait des risques et qu'une incapacité de travailler n'était pas à exclure. Que devait-il faire dans une telle situation? Il choisit la voie de l'honnêteté et avertit son assureur des résultats de l'examen bien que celui-ci n'eût pas été fait dans le cadre d'un diagnostic clinique. Cette compagnie refusa alors de le conserver parmi sa clientèle.

La conclusion de Monsieur B. dans un compte rendu de son expérience: «Je me trouve maintenant dans la situation désagréable d'aller au-devant d'une intervention chirurgicale qui pourrait nous coûter à moi et à ma famille tout ce que nous possédons – et cela seulement parce que j'ai voulu guigner dans mon cerveau. Je n'ignore pas qu'il est très difficile de recruter des sujets d'expérimentation pour la recherche clinique et que chacun d'eux est précieux. Mais mon expérience m'a appris que leur «consentement éclairé» (informed consent) ne saurait l'être s'ils n'ont pas été dûment informés du risque de résultats d'analyse inattendus et des problèmes qu'ils peuvent entraîner au moment de contracter des assurances.»

Source : Anonymous, Nature vol. 434, p. 17, 3.3.2005

N.B.: Cet exemple est d'origine américaine. Il sert en l'occurrence uniquement à illustrer le problème fondamental du risque d'une découverte inopinée. Les conséquences financières décrites ne sont pas transposables telles quelles de ce côté-ci de l'Atlantique, car disposer d'une assurance maladie privée est de plus grande importance aux États-Unis que dans la plupart des pays européens.

## Le cadre juridique

L'on ne trouve en Suisse des dispositions législatives importantes concernant les recherches sur le cerveau à l'aide des procédés d'imagerie que dans quelques lois cantonales ou alors éparpillées dans des arrêtés fédéraux. Il existe donc un besoin sur le plan national de réglementation adaptée à l'état actuel de la technique. Or une occasion d'uniformisation est actuellement à saisir: la future loi fédérale relative à la recherche sur l'être humain, qui englobe celle sur le cerveau et dont le projet est en consultation depuis le mois de février 2006. L'on peut dès lors espérer que, lorsque les chambres fédérales seront appelées à en discuter, elles régleront les points importants, comme ceux de la protection de la personnalité et de l'assurance qualité, dans l'intérêt des patients et des patientes ainsi que des sujets d'expérimentation.

## Autres recommandations

Les auteurs de l'étude recommandent en outre:

- de susciter un débat de société sur les buts, les résultats, les possibilités et limites et les conséquences des procédés d'imagerie appliqués à la recherche sur le cerveau;
- d'améliorer les conditions de la recherche pluridisciplinaire en neurosciences cognitives et du transfert de ses résultats dans le domaine clinique;
- d'investiguer les risques de santé potentiellement liés à certaines applications de l'IRM et d'adapter les prescriptions en matière de sécurité à l'état des connaissances;
- de suivre attentivement les développements dans le domaine de l'imagerie et dans celui des neurosciences et, le cas échéant, de réagir en conséquence.

**«L'on publiera probablement beaucoup de choses dans ce domaine qui ne résisteront pas à l'épreuve du temps.»**

Wolf Singer, chercheur en neurosciences

## Bestelltalon / Bulletin de commande / Order form

### TA-SWISS Studien im Bereich «Biotechnologie und Medizin» / Etudes de TA-SWISS dans le domaine de la «Biotechnologie et médecine» / TA-SWISS studies in the fields of «Life sciences and health»

Alle Studien und Kurzfassungen sind kostenlos erhältlich / Les rapports et les résumés peuvent être obtenus gratuitement / Copies of the reports and the abridged versions can be obtained free of charge

Anzahl / nombre

TA 49/2004  
**Telemedizin**  
*deutsch / qu'en allemand*

TA 48/2004  
**Pharmakogenetik und Pharmakogenomik**  
*ca. 300 S., deutsch*  
*env. 300p., qu'en allemand*

TA 47/2003  
**Nanotechnologie in der Medizin**  
*ca. 124 S., deutsch*  
*env. 124 p., qu'en allemand*

TA 44/2003  
**Menschliche Stammzellen**  
*ca. 363 S., deutsch*  
*env. 363 p., qu'en allemand*

TA 42/2003  
**Technikgestaltung und Moral**  
*14 S., (d, f, e, i)*

TA 40/2001  
**Psychosoziale Aspekte der Ultraschall-Untersuchung in der Schwangerschaft**  
*ca. 170 S., deutsch*  
*env. 170 p., qu'en allemand*

Anzahl / nombre

TA 49A/2004  
**Heilung aus Distanz. Kurzfassung (d, f, e)**  
**Guérir à distance. Résumé (a, f, e)**  
**Distance Healing. Abridged version (a, f, e)**

TA 48A/2004  
**Auf dem Weg zu massgeschneiderten Medikamenten. Kurzfassung (d, f, e)**  
**Vers des médicaments individualisés? Résumé (a, f, e)**  
**Are tailor-made drugs just around the corner? Abridged version (a, f, e)**

TA 47A/2003  
**Die Bausteine der Natur in Griffweite gerückt. Kurzfassung (d, f, e)**  
**Les constituants de la nature désormais à portée de main. Résumé (a, f, e)**  
**Cutting nature's building blocks down to size. Abridged version (a, f, e)**

TA 44A/2003  
**Zellen, die die Politik bewegen. Kurzfassung (d, f, e)**  
**Des cellules qui remuent la politique. Résumé (a, f, e)**  
**Cells that are causing a political stir. Abridged version (a, f, e)**

TA 42/2003  
**Morals and Shaping Technology**  
*14 p., (a, f, e, i)*

TA 42/2003  
**Gestione della tecnica et morale**  
*14 p., (a, f, e, i)*

TA 40A/2001  
**Baby in Sicht. Kurzfassung (d, f, e)**  
**Bébé en vue. Résumé (a, f, e)**  
**Baby sighted. Abridged version (a, f, e)**

Anzahl	Nombre	Quantità	Quantity
<input type="checkbox"/> TA-P6/2004 <b>PubliForum «Forschung am Menschen»</b> Bericht des Bürgerpanels	<input type="checkbox"/> TA-P6/2004 <b>PubliForum «Recherche impliquant des êtres humains»</b> Rapport des citoyens	<input type="checkbox"/> TA-P6/2004 <b>PubliForum «Ricerca su esseri umani»</b> Rapporto del panel di cittadini	<input type="checkbox"/> TA-P6/2004 <b>PubliForum «Research on human beings»</b> Citizen Panel Report
<input type="checkbox"/> TA-P5/2004 <b>PubliTalk «Jugendliche diskutieren Forschung am Menschen»</b>	<input type="checkbox"/> TA-P5/2004 <b>PubliTalk «Des jeunes discutent de la recherche impliquant des êtres humains»</b>	<input type="checkbox"/> TA-P5/2004 <b>PubliTalk «I giovani discutono della ricerca su esseri umani»</b>	
<input type="checkbox"/> TA-P4/2003 <b>publifocus zur In-vitro-Fertilisation</b> Bericht eines Mitwirkungsverfahrens	<input type="checkbox"/> TA-P4/2003 <b>publifocus sur la fécondation in-vitro</b> Rapport d'une méthode participative	<input type="checkbox"/> TA-P4/2003 <b>publifocus sulla fecondazione in vitro</b> Rapporto di un metodo partecipativo	
<input type="checkbox"/> TA-P2/2001 <b>PubliForum «Transplantationsmedizin»</b> 24. bis 27. Nov. 2000 in Bern; Bericht des Bürgerpanels	<input type="checkbox"/> TA-P2/2001 <b>PubliForum «Médecine des transplantations»</b> 24-27 novembre 2000 à Berne; Rapport du panel de citoyens	<input type="checkbox"/> TA-P2/2001 <b>PubliForum «Medicina dei trapianti»</b> Berna, 24-27 novembre 2000 Rapporto del panel dei cittadini	<input type="checkbox"/> TA-P2/2001 <b>PubliForum «Transplantation Medicine»</b> Berne, 24-27 November 2000 Citizen Panel Report
<input type="checkbox"/> Ich möchte die <b>TA-SWISS Newsletter</b> – erscheint 4 x jährlich – <b>per Post</b> erhalten	<input type="checkbox"/> J'aimerais recevoir la <b>Newsletter TA-SWISS</b> – paraît 4 fois par année – <b>par courrier postal</b>		
<input type="checkbox"/> Ich möchte die <b>TA-SWISS Newsletter</b> – erscheint 4 x jährlich – im pdf-Format <b>per Mail</b> erhalten	<input type="checkbox"/> J'aimerais recevoir la <b>Newsletter TA-SWISS</b> – paraît 4 fois par année – <b>par e-mail</b> en format pdf		

E-Mail

Name, Vorname / Nom, prénom

Strasse / Rue

Institution / Organisation

PLZ, Ort / NPA, Lieu

## **TA-SWISS Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung**

Neue Technologien bieten oftmals entscheidende Verbesserungen für die Lebensqualität. Zugleich bergen sie mitunter aber auch neuartige Risiken, deren Folgen sich nicht immer von vornherein absehen lassen. Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung untersucht die Chancen und Risiken neuer technologischer Entwicklungen in den Bereichen «Biotechnologie und Medizin», «Informationsgesellschaft» und «Mobile Gesellschaft». Seine Studien richten sich sowohl an die Entscheidungstragenden in Politik und Wirtschaft als auch an die breite Öffentlichkeit. Ausserdem fördert TA-SWISS den Informations- und Meinungsaustausch zwischen Fachleuten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und der breiten Bevölkerung durch Mitwirkungsverfahren (zum Beispiel PubliForen und publifocus). Das Zentrum für Technologiefolgen-Abschätzung ist dem Schweizerischen Wissenschafts- und Technologierat angegliedert. Der SWTR berät den Bundesrat in wissenschafts- und technologiepolitischen Belangen.

Die Studien des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzung TA-SWISS sollen möglichst sachliche, unabhängige und breit abgestützte Informationen zu den Chancen und Risiken neuer Technologien vermitteln. Deshalb werden sie in Absprache mit themenspezifisch zusammengesetzten Expertengruppen erarbeitet. Durch die Fachkompetenz ihrer Mitglieder decken diese so genannten Begleitgruppen eine breite Palette von Aspekten der untersuchten Thematik ab.

## **TA-SWISS Le Centre d'évaluation des choix technologiques**

Souvent susceptibles d'avoir une influence décisive sur la qualité de vie des gens, les nouvelles technologies peuvent en même temps comporter des risques latents qu'il est parfois difficile de percevoir d'emblée. Le Centre d'évaluation des choix technologiques s'intéresse aux avantages et aux inconvénients potentiels des nouvelles technologies qui se développent dans le domaine des biotechnologies et santé, de la société de l'information et de la mobilité. Ses études s'adressent tant aux décideurs du monde politique et économique qu'à l'opinion publique. Il s'attache, en outre, à favoriser par des méthodes dites participatives, telles que les PubliForums et publifocus, l'échange d'informations et d'opinions entre les spécialistes du monde scientifique, économique et politique et la population. Le Centre d'évaluation des choix technologiques est rattaché au Conseil suisse de la science et de la technologie, qui a pour mission de faire des recommandations au Conseil fédéral en matière de politique scientifique et technologique.

Le Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS se doit, dans toutes ses études sur les avantages et les risques potentiels des nouvelles technologies, de fournir des informations aussi factuelles, indépendantes et étayées que possible. Il y parvient en mettant chaque fois sur pied un groupe d'accompagnement composé d'experts choisis de manière à ce que leurs compétences respectives couvrent ensemble la plupart des aspects du sujet à traiter.

## **TA-SWISS The Centre for Technology Assessment**

New technology often leads to decisive improvements in the quality of our lives. At the same time, however, it involves new types of risks whose consequences are not always predictable. The Centre for Technology Assessment examines the potential advantages and risks of new technological developments in the fields of life sciences and health, information society and mobility. The studies carried out by the Centre are aimed at the decisionmaking bodies in politics and the economy, as well as at the general public. In addition, TA-SWISS promotes the exchange of information and opinions between specialists in science, economics and politics and the public at large through participatory processes, e.g. PubliForums and publifocus. The Centre for Technology Assessment is attached to the Swiss Science and Technology Council, which advises the Federal Council on scientific and technological issues.

Studies conducted and commissioned by the Centre for Technology Assessment TA-SWISS are aimed at providing objective, independent, and broad-based information on the advantages and risks of new technologies. To this purpose the studies are conducted in collaboration with groups comprised of experts in the relevant fields. The professional expertise of the supervisory groups covers a broad range of aspects of the issue under study.

