

Académie des technologies

Avis remis
à
Mme Claudie Haigneré,
ministre déléguée à la Recherche
et aux Nouvelles technologies

« Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment vers les U.S.A. »

le 18 décembre 2003

Avis remis
à
Mme Claudie Haigneré,
ministre déléguée à la Recherche
et aux Nouvelles technologies

« Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment vers les U.S.A. »

Rapporteur : Danièle Blondel

le 18 décembre 2003

Résumé

Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment vers les U.S.A.

Le problème du suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment vers les Etats-Unis, s'inscrit dans le contexte de l'âpre concurrence que se livrent les pays et grandes régions du monde pour la production, la sélection et l'embauche de personnes de haute qualification scientifique et technologique considérées désormais comme une ressource stratégique pour le développement des économies et des sociétés.

Derrière des chiffres d'émigration peu inquiétants en eux-mêmes, semble se profiler une menace réelle de processus cumulatif de déperdition de capital humain repérable, notamment dans le comportement des jeunes docteurs français qui sont de plus en plus nombreux à déclarer vouloir rester aux Etats-Unis après y avoir obtenu leur doctorat.

Pour analyser cette « fuite » supposée, en évaluer l'importance et les conséquences et tenter de définir des politiques permettant de la maîtriser, il faut donc essayer de mettre à jour et d'analyser, derrière les statistiques, les phénomènes complexes et largement qualitatifs dont procèdent ces expatriations de « cerveaux français ». Ceci passe par l'identification et la construction d'indicateurs permettant de répondre aux trois questions qui correspondent aux trois dimensions de la « fuite des cerveaux » : Combien de cerveaux en fuite ? Pourquoi cette préférence pour l'expatriation durable ? Comment apprécier la « valeur » ainsi perdue ?

L'Académie des technologies propose donc de mettre en place une triple batterie d'indicateurs.

I- Pour établir un dénombrement pertinent des cerveaux supposés en fuite : des indicateurs construits plutôt sur les recensements périodiques de la population de résidents permanents que sur celles des flux de migration.

Les statistiques annuelles de **flux de migration** des jeunes scientifiques et ingénieurs français sont connues et de bonne qualité ; toutefois, elles semblent peu pertinentes pour suivre le phénomène de « fuite de cerveaux » ou de « perte de matière grise » dans la mesure où elles mêlent trois populations différentes : étudiants ou ingénieurs en mobilité, post-doc ou scientifiques invités (scholars) et immigrants réels. Certes, aux Etats-Unis, la nature des visas de chacune de ces populations est en principe différente et signale le caractère provisoire ou non du séjour à l'étranger, mais ceci ne permet pas de connaître vraiment les intentions d'installation permanente des migrants.

Mieux vaut donc analyser l'évolution des « fuites », à partir des **statistiques de population de résidents permanents** dans le pays d'accueil (Etats-Unis par exemple), qui fournissent des informations sur leur nombre et leurs caractéristiques à une date donnée. La population concernée est alors composée sans ambiguïté des scientifiques et ingénieurs qui prennent réellement et durablement part à l'activité scientifique et économique du pays d'accueil. L'observation régulière de la taille, de l'âge moyen, de la durée de résidence et de la structure disciplinaire ou sectorielle de cette population expatriée peut donc fournir de bonnes informations sur l'ampleur et les points d'impact principaux du « drainage » des cerveaux par le pays d'accueil, sur la chronique des « fuites » subies dans le passé par la France et, finalement sur leur véritable dynamique.

II- Pour mesurer le risque de fuite des scientifiques et essayer d'apprécier la réversibilité de ces fuites : des indicateurs de « propension à la fuite » pour chaque population d'émigrants concernée.

S'il est vrai que la fuite n'est consommée que lorsque le scientifique ou l'ingénieur est devenu résident permanent (et plus définitivement encore lorsqu'il a obtenu sa naturalisation américaine), il faut remarquer que le pouvoir d'attraction du système américain ne s'exerce pas, seulement, sur des scientifiques ou ingénieurs qui demandent à être admis aux Etats-Unis avec un visa permanent pour y travailler ou créer une entreprise. Il s'exerce, aussi, et de plus en plus semble-t-il, au niveau des étudiants qui, venus simplement pour faire un doctorat par exemple, souhaitent prolonger leur séjour par un post-doc aux Etats-Unis. De même, au niveau du post-doc, où le séjour est en principe de deux ans seulement, l'attractivité des systèmes académique et économique américains, comparée aux conditions de réinsertion en France des jeunes scientifiques, joue à nouveau en faveur de l'installation permanente de ces jeunes diplômés. C'est donc en termes de cheminement dans le système scientifique américain depuis la préparation de la thèse jusqu'au premier emploi académique ou industriel qu'il faut pouvoir apprécier la propension à « fuir » la France.

Deux types d'indicateurs semblent donc ici pertinents :

- d'une part, des indicateurs de **la propension des migrants provisoires à transformer une mobilité en une migration définitive,**
- d'autre part, **des indicateurs de sensibilité aux facteurs d'attractivité du système américain de recherche et d'innovation.**

III- Pour une appréciation de la valeur (économique, sociale...) de la perte subie par la France à la suite de l'installation à l'étranger de ces scientifiques et ingénieurs : des indicateurs composites d'âge, de qualification certifiée et de notoriété.

Si un pays devait perdre dans une cohorte donnée d'émigrés ses « meilleurs » cerveaux, le nombre importerait moins que la qualité totale « perdue ». Compte tenu de l'hétérogénéité des « cerveaux en fuite », on ne peut, pour apprécier la perte subie par le pays d'origine, purement et simplement additionner des unités d'émigrants ou de résidents permanents. Il faudrait pouvoir les pondérer en fonction de la qualité de chacun d'eux.

Au-delà d'une pondération systématique par le nombre d'années d'études effectuées en France, comment repérer **la perte de potentiel** propre à l'émigration de chaque individu ?

Plusieurs variables peuvent être utilisées pour ce repérage : **l'âge** qui informe sur le potentiel actuel et futur capté par le pays étranger, **la qualification**, certifiée ou non (niveau et discipline des diplômes les plus élevés ; expériences professionnelles), qui informe sur les savoirs ou savoir-faire transférés de la France vers l'étranger par ces émigrés, **la notoriété personnelle** pour les scientifiques et les créateurs d'entreprise, **la cote** sur le marché international du travail pour les hauts cadres d'entreprise ou tout autre appréciation par les pairs.

*

Ainsi, finalement la construction d'indicateurs pertinents pour suivre la « fuite des cerveaux » implique-t-elle l'utilisation et, parfois, la construction d'instruments de repérage diversifiés : outre les statistiques classiques des migrations internationales, il faut en effet exploiter les enquêtes très riches déjà existantes et, notamment celles de la NSF et, mettre en place quelques enquêtes et investigations spécifiques afin de dépasser une analyse purement quantitative des flux et d'apprécier la valeur réelle de la perte subie par la France.

Par ailleurs, pour faire un véritable bilan, il conviendrait de construire des indicateurs analogues permettant d'apprécier ce qu'apportent à notre pays les scientifiques et ingénieurs étrangers qui y travaillent comme résidents.

Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment vers les U.S.A.

Responsable académique : Danièle Blondel

Même si le phénomène de « fuite des cerveaux » français et européens est dénoncé depuis longtemps¹, on ne peut plus ignorer aujourd'hui l'âpreté croissante de la concurrence que se livrent les pays et grandes régions du monde pour la production, la sélection et l'embauche de personnes de haute qualification scientifique et technologique. La richesse présente des nations et leur développement futur dépendent en effet de plus en plus des savoirs et des compétences dont elles sont porteuses et qui les transforment en ressources économiques et sociales stratégiques.

Sur ce marché bien particulier, l'Europe se trouve dans une situation paradoxale : « atelier de production de cerveaux scientifiques » le plus productif du monde, puisqu'en 2000 elle a délivré 2,14 millions de diplômes de licences et de docteurs contre 2,07 pour les Etats-Unis et 1,1 millions pour le Japon², elle voit son retard technologique avec le continent nord-américain rapidement s'élargir sous l'effet du différentiel croissant d'investissements en R&D entre les deux régions . Le résultat de cette évolution contrastée est double : on constate, tout d'abord, que, malgré ce potentiel de compétence constamment renouvelé, l'Europe a vu, au cours de la dernière décennie du XXème siècle, sa compétitivité en termes de haute technologie se détériorer rapidement (puisque son déficit commercial en produits de haute technologie est passé de 9 milliards d'Euros en 1995 à 48 milliards en 2000) ; en second lieu, et de manière plus pernicieuse, on constate que ce différentiel d'investissements semble se traduire en différentiel d'attractivité des systèmes de recherche et d'innovation respectifs de l'Europe et des Etats-Unis à l'égard des élites scientifiques et technologiques. Au-delà de la mobilité internationale et de la participation à des réseaux transnationaux qui constituent pour eux des pratiques courantes, il semble que les « cerveaux » européens soient de plus en plus séduits par le dynamisme des pôles scientifiques et technologiques d'Outre-atlantique au point d'envisager d'y faire ou d'y poursuivre leurs carrières.

Par ailleurs, les Etats-Unis, qui risquent de voir leur dynamisme actuel bridé par la faiblesse de leur production de diplômés scientifiques nationaux, ne cessent de perfectionner leur réglementation sur l'immigration et leurs structures d'accueil pour rendre plus facile et plus agréable l'entrée de jeunes scientifiques et ingénieurs étrangers, de telle sorte qu'aujourd'hui, par exemple, au niveau post-doc, les étrangers sont majoritaires dans les universités américaines (55% pour le secteur « science et ingénierie »). Certes, tous ces étrangers venus pallier les carences américaines, ne sont pas européens ; tant s'en faut puisque pour l'année 1993, par exemple, le nombre total d'ingénieurs et de scientifiques admis aux Etats-Unis culmina à plus de 23 000 parmi lesquels on ne recensa que 2540 Européens de l'Ouest dont 153 Français (5 478 pour l'ensemble du continent européen). Pour la France, et même pour l'Europe, ces chiffres sont donc peu inquiétants en eux-mêmes, mais derrière eux, semble se profiler une menace réelle de processus cumulatif de déperdition de « capital humain », repérable notamment dans l'évolution des projets des jeunes scientifiques : ainsi, constate-t-on qu'en 1999, 75% des PhD européens déclarent vouloir rester aux Etats-Unis où ils ont obtenu leur doctorat, alors qu'en 1990, seulement 50% d'entre eux avaient la même intention.

Ce phénomène de « cercle vicieux », au détriment des pays européens et, spécifiquement de la France, est-il irréversible? Son importance appelle-t-elle dès aujourd'hui une vigoureuse politique destinée à le contrecarrer ? En est-il encore temps ?

¹ Annexe 3

² **European Commission- 2003- Third report on Science and Technology Indicators**

Pour cerner et analyser cette « fuite » supposée, en évaluer l'importance et les conséquences et tenter de définir des politiques permettant de la maîtriser, il faut essayer de mettre à jour et d'identifier, derrière les statistiques, les phénomènes complexes et largement qualitatifs dont procèdent ces expatriations de « cerveaux français ». Ceci passe par la définition et la construction d'indicateurs permettant de répondre aux trois questions qui correspondent aux trois dimensions de la « fuite des cerveaux » : **Combien de cerveaux en fuite ? Pourquoi cette préférence pour l'expatriation durable ? Comment apprécier la « valeur » ainsi perdue ?**

L'Académie des technologies propose donc de mettre en place une triple batterie d'indicateurs valables pour la France (comme ils le seraient d'ailleurs pour les autres nations d'Europe) :

- des indicateurs strictement statistiques pour établir un dénombrement pertinent de ces cerveaux supposés « en fuite »,
- des indicateurs de « propension à la fuite » pour essayer d'apprécier la réversibilité de ces fuites pour chaque population de migrants concernée,
- des indicateurs qualitatifs pour essayer de mesurer la « valeur » de la perte de capital humain correspondante.

I. Pour une statistique pertinente de la fuite des cerveaux : combien de cerveaux fuient la France pour aller potentiellement « enrichir » les Etats-Unis ?

Toutes les migrations de diplômés partant de France pour les Etats-Unis ne véhiculent pas des pertes nettes de « matière grise » et il faut, en préalable à toute étude statistique, **distinguer la mobilité et l'émigration de cerveaux** : la population des diplômés de l'enseignement supérieur ou plus précisément des « scientifiques et ingénieurs français » qui demandent à entrer aux Etats-Unis comprend en effet plusieurs groupes différents : celui des étudiants qui sont encouragés à la mobilité et partent faire tout ou partie de leurs études à l'étranger ; celui des professeurs ou scientifiques « invités » pour quelques semaines ou quelques mois ; celui des cadres d'entreprises qui vont travailler provisoirement sur le territoire américain et celui des migrants qui sont admis aux Etats-Unis comme résidents permanents pour participer à l'activité scientifique et économique américaine.

En toute rigueur, seule la dernière catégorie peut être considérée comme relevant de la problématique de la « fuite » ou de la « perte » de cerveaux ; les étudiants ne doivent pas être inclus dans le dénombrement des « cerveaux en fuite » tant qu'ils ne demandent pas à rester en tant que résidents permanents après leurs études³ et il en est de même pour les chercheurs et ingénieurs qui partent travailler provisoirement à l'étranger. Pour les uns, comme pour les autres, on peut même affirmer que leur mobilité engendre un bénéfice pour leur pays d'origine puisqu'ils y rapportent les connaissances qu'ils se sont appropriées ailleurs et de nouvelles compétences acquises par immersion dans un environnement étranger.

Le groupe des post-doc et, plus généralement des « scholars » (post-doc + scientifiques invités) est un peu ambivalent ; entrés aux Etats-Unis pour une période limitée, ils peuvent être considérés comme des étudiants scientifiques prolongés et donc plutôt comme des demandeurs de savoirs, mais le fait qu'ils soient déjà bien formés et parfois explicitement sollicités par des laboratoires publics ou privés américains peut aussi justifier qu'ils soient considérés comme des vecteurs de savoirs et donc des apports nets pour la recherche américaine. Compte tenu de l'importance actuelle des post-doc étrangers dans le potentiel scientifique des universités américaines, et malgré la durée limitée à quelques années

³ Il y a évidemment une ambiguïté pour les étudiants avancés qui sont en fait des chercheurs doctorants et ingénieurs en phase de spécialisation, pour lesquels il est difficile de savoir si leur travail à l'étranger peut constituer une « perte » ou un gain pour leur pays d'origine. On considérera ici que la balance est équilibrée sur le moyen terme à condition qu'ils rentrent à la fin de leurs études.

de leur intégration et l'absence de statut de résident permanent, il paraît légitime de considérer qu'ils constituent une population critique pour le problème de la « fuite des cerveaux », d'autant que la France arrive, en 2000, au 2^{ème} rang derrière l'Allemagne pour la présence de ce type de jeunes scientifiques aux Etats-Unis avec environ 3000 « scholars »⁴.

Sur cette population de scientifiques et ingénieurs français ayant volontairement migré pour les Etats-Unis et, quelle que soit la définition plus ou moins large de ce groupe⁵, il est possible de construire des indicateurs quantitatifs, soit à partir de la statistique des flux migratoires, soit à partir des recensements de population de résidents permanents. Pour repérer les « fuites »⁶ de cerveaux, véritablement génératrices de pertes de potentiel scientifique et technologique, et en étudier l'évolution, il semble bien que, paradoxalement, les seconds soient plus pertinents que les premiers dans la mesure où la balance des gains et des pertes liées à la mobilité des scientifiques et des ingénieurs ne devient à coup sûr négative qu'à partir du moment où ils ont décidé de participer, durablement, à l'activité du pays d'immigration.

I-1. Les indicateurs de flux migratoires annuels

Bien qu'elles soient les plus souvent citées dans les commentaires journalistiques dénonçant le « Brain Drain », les statistiques internationales de flux migratoires, établies à partir des registres d'immigration, ne donnent qu'une indication assez grossière et parfois ambiguë du phénomène et de son évolution. Etablies pour les échanges bilatéraux de personnes, elles permettent d'établir année après année, la carte mondiale de ces flux et, par conséquent de hiérarchiser les forces d'attraction respectives des pays les plus avancés ; elles permettent aussi de situer l'importance quantitative des migrations brutes et nettes françaises à l'échelle de l'Europe et du monde.

Pour le sujet précis de la « fuite » supposée des cerveaux, on peut tirer de la statistique des flux annuels quelques indicateurs de structure de ces flux, sous forme de ratios, permettant de cerner le sujet et d'en donner une première image tels que :

a. *ratio des migrations (exportations et importations) de personnel hautement qualifié (diplômés de l'enseignement supérieur) par rapport aux migrations totales.*

L'évolution de ce ratio fournit une indication de l'évolution structurelle et conjoncturelle des marchés du travail respectifs dans les deux pays concernés, pour les personnes hautement qualifiées, et de l'efficacité des stratégies américaines pour pallier leurs propres déficits de formation.

Cet indicateur peut être aussi sectorisé pour rendre compte du drainage particulier qu'opèrent certains secteurs sur le marché international « des cerveaux » (mathématiciens et informaticiens par exemple).

b. *ratio des flux d'étudiants par rapport aux flux totaux (ou aux flux des personnes hautement qualifiées).*

Ce ratio permet d'avoir une première mesure de l'attractivité respective du système de formation et du système d'emploi dans le pays d'accueil mais l'interprétation annuelle en est cependant délicate, car l'arrivée sur le marché de l'emploi est souvent précédée d'une migration estudiantine qui la prépare.

⁴ Erwan Sez nec & Dominique Martin-Rovet : *Etat des lieux 2000 sur la présence des Français en science et ingénierie aux Etats-Unis*- Bureau du CNRS à Washington Mai 2001

⁵ Annexe méthodologique : A1

⁶ Le terme de « fuite » dans ce contexte géopolitique de répartition mondiale des ressources cognitives a clairement une connotation géographique et s'applique donc aux migrations entre deux territoires nationaux. C'est dans cette acception qu'il est utilisé ici en privilégiant le critère de « résidence » (et non de nationalité). Toutefois, on peut évidemment se demander, si la participation de « cerveaux » français à une activité scientifique ou industrielle étrangère implantée sur le sol français ne pourrait pas être également considérée comme une perte de potentiel scientifique et technologique pour la France.

c. ratio des flux annuels de scientifiques et ingénieurs par rapport au flux annuel de l'ensemble des diplômés français de même niveau (par discipline par exemple)

Ce ratio, appliqué aux émigrations, permet de relativiser la perte éventuelle (en 1993, ce sont seulement 50 scientifiques et une centaine d'ingénieurs français qui sont entrés comme résidents permanents aux Etats-Unis) alors qu'environ 10 000 doctorats (dont près de 6000 scientifiques), plus de 20 000 diplômés d'ingénieurs et 25 000 DESS (dont plus de 5000 en sciences) ont été attribués annuellement en France dans la décennie 90.

On peut songer aussi à d'autres ratios ou indicateurs structurels : pourcentage de femmes dans ces flux, pyramide des âges des migrants, diplômés en France de nationalités étrangères par rapport à l'ensemble des diplômés en France, indicateurs de structure des flux de diplômés par discipline, pourcentage des scientifiques et ingénieurs dans l'ensemble des migrants⁷ etc...

Ces dénombrements et ces ratios fournissent donc des informations intéressantes sur les évolutions quantitatives et structurelles de ces flux migratoires de scientifiques et d'ingénieurs ; ils peuvent attirer l'attention sur certains phénomènes (des discontinuités par exemple) et inviter l'observateur à pousser plus loin son investigation. Ils semblent cependant assez peu adéquats pour détecter la réalité du phénomène de « fuite » et suivre l'évolution et les déterminants de la perte nette encourue par le pays d'origine ; d'une part, en effet, celui qui passe une frontière et se trouve donc enregistré dans les statistiques de flux peut revenir à plus ou moins brève échéance ; d'autre part, des diplômés entrés sur visa d'étudiants ou de « scholars » peuvent décider plus tard de rester aux Etats-Unis et de demander le statut de résident permanent. Même en exploitant l'information sur les types de visas, l'enregistrement des mouvements bruts annuels de population ne donne donc aucune information sur le temps réel d'expatriation futur des personnes concernées.

En outre, vus de la France, les flux bruts devraient être corrigés par des flux en sens inverse, pour mesurer la « perte » nette annuelle ; or, cette correction est très difficile à faire, car la compensation quantitative devrait être complétée par une étude qualitative de ces flux, pour savoir si les compétences, perdues et gagnées, se compensent réellement (âge, discipline, expérience, etc), toutes choses étant égales par ailleurs.

Ce ne sont donc pas les statistiques des flux d'émigration qui sont les plus pertinentes pour suivre quantitativement le phénomène de « fuite » ou perte de cerveaux, mais les dénombrements et ratios concernant la population des résidents permanents.

I-2. Les indicateurs construits à partir des recensements de résidents permanents

La présence des scientifiques et ingénieurs français aux Etats-Unis est très précisément identifiée par une base de données de la NSF (SESTAT), qui réunit les résultats de 3 enquêtes réalisées tous les deux ans, depuis 1993 et, qui donne de très nombreuses informations sur l'emploi, la formation, la situation et les caractéristiques démographiques des chercheurs et ingénieurs français qui sont résidents permanents aux Etats-Unis, c'est-à-dire de ceux qui, au fil du temps, pour une raison ou une autre, ont décidé de s'installer aux Etats-Unis en gardant la nationalité française.

Notons que cette population (15 175 personnes en 1997) était composée à cette date, pour plus de la moitié, de personnes qui vivent aux Etats-Unis depuis leur adolescence et, pour les trois-quarts environ, de personnes qui ont étudié dans ce pays. Pour traiter du problème de la « fuite » des cerveaux qui suppose d'une part, **la volonté de quitter la France pour aller travailler durablement aux Etats-**

⁷ Pour la définition des scientifiques et ingénieurs : S&I dans le texte ci-dessous: annexe méthodologique A1

Unis ou y créer son entreprise et, d'autre part, **l'existence d'une perte de compétences acquises en France**, il faut apporter au moins deux corrections à l'assiette de cette statistique :

- 1) supprimer de l'échantillon, au minimum, les Français résidents permanents ayant fait leurs études secondaires aux Etats-Unis et pour lesquels il paraît très contestable de parler de « fuite »⁸. En 1997, pour les diplômés S&I, ce pourcentage était de 56%. A cette date, les résidents français aux Etats-Unis étaient donc majoritairement des personnes qui y avaient passé leur adolescence et pour qui le problème de la « fuite » n'existe pas. Cette correction doit être faite soigneusement, par champ disciplinaire, car le pourcentage en question est divers, allant en 1997, de 45% pour les sciences de la vie à 70% pour les mathématiciens et informaticiens. L'évolution de ces pourcentages peut d'ailleurs fournir une indication sur l'accélération de l'attraction qu'exercent les Etats-Unis sur les candidats à la migration géographique .
- 2) ajouter à l'échantillon des diplômés S&I français, d'une part les titulaires des mêmes diplômes d'origine française qui ont pris la nationalité américaine et d'autre part, les non-français qui ont acquis leur diplôme le plus élevé en France.

Sur cette population de résidents permanents ainsi définie, des recensements réguliers doivent permettre de repérer les évolutions temporelles, les accélérations et décélérations et les éventuels processus cumulatifs de « fuite », au niveau de l'échantillon total ou au niveau de ses différentes composantes.

Ainsi, d'après SESTAT, le nombre de Français résidents permanents aux Etats-Unis et titulaires d'un diplôme supérieur en S&I a augmenté de 19%⁹ entre 1993 et 1997, date à laquelle leur nombre est supérieur à 10 000 et, où ils constituent les 2/3 des français résidents permanents aux Etats-Unis titulaires d'un diplôme supérieur. L'évolution semble encore plus nette pour les docteurs, puisque le nombre des Français résidents permanents et titulaires d'un doctorat en S&I a augmenté de 31% dans la même période, atteignant alors le chiffre de 1923. Au vu de ces chiffres globaux, on peut conclure à une aggravation du phénomène de « fuite ». Il faut affiner ce constat en calculant l'évolution sur l'échantillon corrigé, afin de détecter une éventuelle influence des politiques d'accueil et de la conjoncture respectives des deux pays concernés sur les fluctuations de ces « fuites »..

Enfin, pour cerner plus précisément le phénomène et l'évolution quantitative et structurelle de ces « pertes » subies par la France au profit des Etats-Unis, plusieurs séries de ratios pourraient être facilement construites et périodiquement observées :

a) coefficients structurels de la population des résidents permanents S&I selon les disciplines permettant de repérer éventuellement les évolutions différentes des marchés du travail correspondantes. Ainsi en 1997, les 10 660 français résidents permanents aux Etats-Unis en S&I sont-ils répartis entre 34% de diplômés en sciences sociales, 27% de diplômés en ingénierie et 22% de diplômés en sciences de la vie (11% de mathématiciens et informaticiens et 6% de physiciens).

b) coefficients structurels de la population des résidents permanents S&I selon le niveau du diplôme le plus élevé obtenu (Bachelor, Master, PhD). Partant de l'hypothèse que la fuite est d'autant plus grave que le niveau du diplôme est élevé, la déformation de la structure au profit des doctorats peut être un signal d'aggravation de la fuite.

c) pour chaque niveau de formation attesté par le diplôme de plus haut niveau en S&I, pourcentage de résidents permanents S&I ayant obtenu ce diplôme en France : en 1997, on constate par exemple que ce pourcentage est de 16% pour l'ensemble des diplômes S&I et, de 36% pour les doctorats, ce qui situe le comportement de fuite davantage au niveau du doctorat qu'aux niveaux inférieurs mais, qui

⁸ Pour ceux qui y ont fait leurs études supérieures, en particulier pour préparer des PhD, le comportement est plus ambigu et il convient de les laisser dans l'échantillon sous réserve de faire une analyse particulière de leurs caractéristiques et de leur comportement car ils sont souvent candidats à la « fuite » définitive.

⁹ :Damien Terouanne : *Présence française en Science et en ingénierie aux Etats-Unis- Nov 1997*

montre aussi une évolution assez rapide puisqu'une grosse majorité des résidents français a fait son doctorat aux Etats-Unis (55%), alors qu'en 1993, ces PhD américains ne représentaient que 47,5%. N'y aurait-il pas là un signe de désaffection à l'égard des 3^{èmes} cycles de recherche français ?

d) coefficients structurels de la population des résidents permanents selon l'emploi occupé en distinguant trois catégories : les chercheurs, les cadres d'entreprise et les chefs d'entreprise. Pour ces derniers, le ratio des chefs de jeunes entreprises (et créateurs d'entreprise), d'origine française, sur le total des jeunes entrepreneurs d'origine américaine (en distinguant si possible les entreprises high-tech de l'ensemble des entreprises), serait également un bon indicateur d'attractivité du système économique américain.

e) ratio du nombre des résidents permanents S&I originaires de France/ total des résidents permanents S&I d'autres origines géographiques (par grandes zones dont l'Europe des 15).

Aussi évocateurs soient-ils, ces indicateurs statistiques ne reflètent cependant que l'« état des lieux » quantitatif à chaque date d'observation ; ils permettent les comparaisons mais ne permettent, ni de « suivre » à proprement parler le phénomène en explicitant les processus par lesquels se constitue ce stock de résidents permanents, ni de l'anticiper ou le contrecarrer par une politique d'incitation au retour adéquate. Il est donc nécessaire de se doter, aussi, d'indicateurs de comportement qui mesurent l'évolution de la propension des scientifiques et ingénieurs à « fuir » la France pour s'établir aux Etats-Unis.

II. Pour mesurer, suivre, anticiper le risque de « fuite » et apprécier la réversibilité de ces pertes : des indicateurs de propension à la fuite pour chaque population d'émigrants concernée

S'il est vrai que la fuite (et par conséquent la perte pour la France) n'est consommée que lorsque le scientifique ou l'ingénieur est devenu résident permanent (et plus définitivement encore lorsqu'il a obtenu sa naturalisation américaine), il faut remarquer que le pouvoir d'attraction du système américain ne s'exerce pas, seulement, sur des scientifiques ou ingénieurs qui demandent à être admis aux Etats-Unis avec un visa permanent pour y travailler ou créer une entreprise. Il s'exerce, aussi, et de plus en plus semble-t-il, au niveau des étudiants qui, venus simplement pour faire un doctorat par exemple, souhaitent prolonger leur séjour par un post-doc aux Etats-Unis. De même, au niveau du post-doc, où le séjour est en principe de deux ans seulement, l'attractivité des systèmes académique et économique américains, comparés aux conditions de réinsertion en France des jeunes scientifiques, joue à nouveau en faveur de l'installation permanente de ces jeunes scientifiques. C'est donc en termes de cheminement dans le système scientifique américain, depuis la préparation du diplôme jusqu'au premier emploi académique ou industriel, qu'il faut pouvoir apprécier la propension à « fuir » la France. Deux types d'indicateurs semblent donc ici pertinents : des indicateurs de propension à rester une fois que l'on a « goûté » au système américain et des indicateurs de « sensibilité » aux atouts du système américain.

II-1. Indicateurs de la propension des migrants provisoires à transformer une mobilité en une migration définitive

A partir des enquêtes réalisées, notamment par les postes diplomatiques français aux Etats-Unis, il est possible d'établir - aux deux niveaux de la préparation du doctorat et du post-doc - un indicateur de propension à rester aux Etats-Unis, après le terme du séjour prévu..

Cette propension pourrait être mesurée sous deux formes :

- ratio **rétrospectif** : quel pourcentage d'étudiants (ou post-doc) venus pour faire des doctorats (ou des post-doc) aux Etats-Unis y sont restés après, ou y sont revenus ?
- ratio **d'anticipation** : quel pourcentage de doctorants ou post-doc actuels souhaitent rester aux Etats-Unis ?

Ces deux ratios, calculés pour les différentes disciplines, constitueraient une information précieuse pour valider ou invalider l'hypothèse d'une tendance actuelle au renforcement de l'attractivité des Etats-Unis, notamment sous l'influence d'une politique volontariste de ce pays.

Etablis en séries temporelles, ces deux ratios pourraient aussi permettre de comparer des intentions et des réalisations pour les mêmes cohortes, et ainsi jauger la véritable capacité du système américain à retenir les jeunes scientifiques ou ingénieurs qui le souhaitent ou à en inciter encore davantage à rester.

Cette information quantitative doit évidemment être complétée par des indicateurs résumant la sensibilité des migrants aux atouts relatifs des systèmes scientifique et industriel américain.

II-2 : Indicateurs de sensibilité aux facteurs d'attractivité du système américain de recherche et d'innovation

Le système américain, comme le système français, se caractérise par des points forts et des points faibles, en ce qui concerne l'attraction qu'il peut exercer sur les jeunes scientifiques et ingénieurs. Sous l'influence des politiques ou des conjonctures nationales, ces forces d'attraction ou de « répulsion » peuvent, dans chacun des pays concernés, varier d'intensité ou de sens, modifier le différentiel d'attractivité et finalement déclencher des comportements de « fuite », ou au contraire de « retour au pays ». Parfois, ces variations engendrent des phénomènes cumulatifs : « cercles vicieux » pour certains pays et « cercles vertueux » pour les autres. Des interviews personnelles (de membres de l'Académie des technologies par exemple) et des enquêtes déjà réalisées (par le bureau du CNRS à Washington par exemple) incitent à souligner quatre grandes séries de facteurs déterminants du comportement de « fuite » ou de « retour ».

a) La qualité de l'encadrement et de l'équipement scientifiques dans les universités ou centres de recherche publics mais aussi dans les entreprises. L'existence de pôles et de réseaux d'excellence confère à celui qui en fait partie notoriété internationale et accélération de carrière. Sur ce registre, il semble que la France, pour certains secteurs, est encore capable de retenir ses scientifiques et d'en attirer de l'étranger, mais de dangereux processus cumulatifs de fuite semblent aussi s'amorcer dans d'autres secteurs, lorsque des seuils critiques ne sont pas ou plus atteints, en termes d'investissements et d'équipes. En outre, les conditions de travail sont incomparablement plus satisfaisantes aux Etats-Unis qu'en France.

b) L'état du marché du travail des scientifiques et des ingénieurs ; il est beaucoup plus porteur aux Etats-Unis qu'en France depuis assez longtemps, tant en ce qui concerne le nombre d'emplois offerts (beaucoup d'emplois très qualifiés ont été créés aux Etats-Unis dans les années 90-2000), que le salaire. En revanche, la France offre aux scientifiques une stabilité de l'emploi qui n'existe pas Outre-Atlantique.

c) La flexibilité des procédures administratives et managériales et la facilité d'accès à des modes de financement de l'innovation sont des atouts américains particulièrement appréciés des créateurs d'entreprises innovantes, lorsqu'ils les comparent aux conditions françaises.

d) L'environnement culturel et scolaire vient toujours en tête des motifs de retour en France. Y sont particulièrement sensibles les chercheurs et cadres d'entreprises qui ont des enfants d'âge scolaire. L'attrait d'une implantation pérenne outre-Atlantique est donc fonction de la situation matrimoniale des émigrés et de l'âge de leurs enfants ; les jeunes pères de famille sont nombreux à souhaiter rentrer

en France pour les études secondaires de leurs enfants. Tout autre est évidemment le comportement des émigrés plus âgés, installés depuis longtemps et largement intégrés dans l'économie et l'environnement scientifique du pays d'accueil qui n'ont plus d'enfants d'âge scolaire, ou encore celui des émigrés très jeunes n'ayant pas encore d'enfants.

De manière générale, l'appréciation des points forts et des points faibles de chacun des deux pays varie certainement selon les groupes et les individus. ; les Post-doc, les chercheurs académiques, les chercheurs industriels, les créateurs ou de cadres d'entreprises, pondèrent différemment les atouts du système américain, comparé au système français. Seules des enquêtes personnalisées, et assez élaborées, peuvent donc permettre de préciser des coefficients de sensibilité à ces différentiels d'attractivité et, par conséquent, l'impact potentiel de mesures françaises destinées à combler le déficit d'attractivité de la France, selon les publics cibles.

Mais la construction d'indicateurs, destinés à mieux comprendre comment et pourquoi se constitue aux Etats-Unis un stock de résidents permanents, composé de scientifiques et ingénieurs originaires de France, n'épuise pas la question de la « perte de matière grise » subie par la France. Il faut aussi savoir apprécier la « valeur » que représente cette « émigration » de cerveaux .

III. Pour une appréciation de la « valeur » (économique, sociale...) de ces personnes hautement qualifiées qui préfèrent partir de France pour s'installer aux Etats-Unis : des indicateurs composites d'âge, de qualification certifiée et de notoriété.

Si un pays devait perdre, dans une cohorte donnée d'émigrés, ses « meilleurs » cerveaux, le nombre importerait moins que la qualité totale « perdue ». Compte tenu de l'hétérogénéité des « cerveaux en fuite », on ne peut, pour apprécier la perte subie par le pays d'origine, purement et simplement additionner des unités d'émigrants ou de résidents permanents. Il faudrait pouvoir les pondérer en fonction de la qualité de chacun d'eux.

Dans la problématique économique de l'investissement en capital humain, une première pondération est possible. En effet, les organisations internationales, OCDE et Banque Mondiale par exemple, adoptent, pour la mesure du potentiel productif de chaque unité de travail, une pondération proportionnelle au nombre d'années d'études au-delà de la scolarité obligatoire. Par analogie, on peut suggérer d'adopter ici, pour chaque « cerveau », devenu résident permanent à l'étranger, une pondération proportionnelle au nombre d'années d'études supérieures passées dans le pays d'origine¹⁰ avant son arrivée : la pondération correspondrait ainsi approximativement à l'investissement perdu par le pays d'origine.

Mais cette mesure correspond davantage au passé qu'au futur et ne permet pas de repérer la perte de potentiel propre à l'émigration de chaque individu.

Il convient donc d'essayer de construire des indicateurs de qualité, affinant le « portrait » de ces émigrés, devenus résidents permanents à l'étranger, et qui permettent de les connaître plus précisément que par une simple classification par niveau de diplôme.

¹⁰ Un docteur (BAC+8) diplômé dans son pays d'origine pourrait par exemple être considéré comme une unité de base, un ingénieur (Bac+5) pour 0,7, un titulaire d'une licence nationale ayant poursuivi ses études à l'étranger pour 0,5 etc...

III-1. Une première approche est celle de l'âge (combiné ou non au nombre d'années déjà passées dans le pays d'accueil) au moment de l'enquête périodique sur les résidents permanents évoquée plus haut.

L'âge informe sur le potentiel actuel et futur, capté par le pays étranger et, l'évolution de l'âge moyen de ces résidents permanents aux Etats-Unis peut fournir une bonne indication de la densité de la perte cognitive. Plus il est bas, plus on peut supposer que les expatriés en question sont capables de transférer des savoirs, relativement récents, acquis dans les centres de recherche français ; une augmentation de l'âge moyen pondère davantage le transfert d'expérience que le transfert de savoirs académiques, mais il faut alors s'interroger sur le lieu d'acquisition de cette expérience, qui n'est pas forcément la France.

III-2. Une deuxième approche est celle de la qualification en termes de types de savoirs ou savoir-faire des émigrés

Dans une approche qui reste quantitative, mais qui intègre les caractéristiques dynamiques des migrations, il faut tenir compte des spécialités des migrants, car toutes les disciplines de formation à la recherche n'ont pas le même potentiel d'innovation cognitive et économique ; en outre, la concurrence pour le drainage des cerveaux, révélée par les déséquilibres respectifs des marchés du travail de ces différentes compétences, montrent que le caractère stratégique du drainage est inégal ; il convient donc d'affiner les données strictement quantitatives en la structurant en fonction :

- a) **du type de diplôme** le plus élevé obtenu et du lieu de son obtention,
- b) **de la fonction** au moment de l'émigration et de sa vulnérabilité au chômage,
- c) **du type d'emploi** dans le pays d'accueil en distinguant notamment la recherche et l'industrie (au sens large d'activité économique marchande),
- d) **de la discipline scientifique** précise dans le cas des chercheurs, car pour les docteurs, on a pu constater que la structure des doctorats américains était assez différente de la structure des doctorats français et l'on peut donc se poser la question de l'émigration en termes de complémentarité plutôt que de concurrence.

En procédant de la sorte, trois catégories de décideurs recueilleraient de précieux renseignements : les responsables de l'enseignement supérieur, qui seraient tenus informés des débouchés des différentes filières et des caractéristiques comparées des marchés du travail dans les deux pays, les responsables de la politique de recherche publique qui identifieraient aisément la polarisation des flux de chercheurs, enfin les responsables de la politique industrielle, quant à l'utilisation des compétences ainsi caractérisées dans les deux pays.

III-3. Une troisième approche est celle de la qualité à proprement parler : sont-ce les « meilleurs » qui sont captés par l'étranger ? C'est évidemment la caractéristique la plus difficile à mesurer, car elle ne peut être approchée seulement par les salaires offerts, bien que ceux-ci soient une première approximation légitime lorsqu'il s'agit de l'environnement américain.

Pour préciser les types d'évaluation des personnes, il faut distinguer d'une part, les scientifiques, pour lesquels des critères internationaux de qualité existent et sont reconnus universellement (publications ; prix Nobel etc.) par la communauté scientifique ; d'autre part, les cadres qualifiés, dont les critères de sélection sont révélés par le marché du travail, plus sensible à la conjoncture que le marché de l'emploi scientifique et, enfin les créateurs d'entreprises, dont le potentiel requiert encore un autre type d'évaluation.

- a) **Pour les scientifiques**, originaires de France par exemple, qui ne sont pas très nombreux comme résidents permanents aux Etats-Unis, il paraît possible et souhaitable d'enquêter de manière assez exhaustive pour repérer le niveau auquel leurs pairs français et étrangers les situent sur l'échelle standard d'évaluation de leur discipline, d'autant que la grande majorité d'entre eux ont trouvé leur place dans un nombre réduit de sites de recherches américains :
 - enquêtes auprès des laboratoires de départ et des centres de recherche publics ou privés du pays d'accueil ;

- enquêtes de notoriété auprès de chercheurs éminents de la discipline et des systèmes d'évaluation nationaux ;
- enquêtes auprès des émigrés eux-mêmes pour savoir sur quels critères ils ont été sélectionnés, lorsque des appels d'offre systématiques ont été lancés par des universités ou entreprises américaines.

b) Pour les cadres de formation scientifique ou de formation « ingénieur » (au sens large du Bac+5), ayant fait leurs études en France et employés par des entreprises américaines sur le sol américain, qui sont d'ailleurs plus nombreux que les « purs scientifiques », le problème d'enquête qualitative est plus difficile. L'analyse de la hiérarchie de cette sous-population par des chasseurs de tête qui, souvent, connaissent les plus côtés d'entre eux, pourrait sans doute permettre de les comparer à la sous-population de référence restée en France. Leur fonction, leur niveau de salaire et la performance de l'entreprise qui les emploie, peuvent aussi constituer des indices de leur « qualité relative ».

c) Le cas des créateurs français d'entreprises américaines est à la fois plus crucial pour l'innovation et l'emploi en France, et plus difficile à résumer par des indicateurs pertinents. L'un d'entre eux peut-être le nombre de brevets déposés par chacun d'eux et l'envergure internationale de ces brevets mais on sait que le nombre de brevets ne constituent pas un indicateur parfait d'inventivité ; un autre peut-être le nombre d'emplois créés aux Etats-Unis sur une période de 5 ans par exemple. Finalement, il faut sans doute, étant donné leur faible nombre, s'interroger sur leur parcours personnel et leur capacité créative pour l'activité et l'emploi, afin d'apprécier le dommage économique causé à la France par leur départ et essayer d'éviter à l'avenir, des fuites analogues ? En outre, une répartition de ces créateurs d'entreprises par secteurs et en trois groupes, « High-tech », « Medium-tech » et « Low-tech »¹¹, permettrait de préciser l'impact de ces migrations pour les dynamiques technologiques respectives du pays d'origine et du pays d'accueil.

*
* * *

Ainsi, finalement, la construction d'indicateurs pertinents pour suivre la « fuite des cerveaux » implique-t-elle l'utilisation et parfois la construction d'instruments de repérage diversifiés : outre les statistiques classiques des migrations internationales, il faut en effet exploiter les enquêtes très riches déjà existantes et, notamment celles de la NSF, et mettre en place quelques enquêtes et investigations spécifiques, afin de dépasser une analyse purement quantitative des flux et d'apprécier la valeur réelle de la perte subie par la France.

Par ailleurs, pour faire un véritable bilan, il conviendrait de construire des indicateurs analogues, permettant d'apprécier ce qu'apportent, à notre pays, les scientifiques et ingénieurs étrangers qui y travaillent comme résidents.

¹¹ Catégories utilisées par les organismes internationaux notamment pour les statistiques du commerce international

BIBLIOGRAPHIE PRINCIPALE

CNRS à Washington- Mission scientifique et technologique - Ambassade de France :

a) novembre 1997 : Damien Terouanne : *Présence française en Science et en ingénierie aux Etats-Unis*

b) mai 2001 : Erwan Seznec et Dominique Martin-Rovet : *Etat des lieux 2000 sur la présence des français en science et ingénierie aux Etats-Unis- les cerveaux, fous d'Amérique ? Pas vraiment...*

c) mai 2002 : Erwan Seznec, Dominique Martin-Rovet & Stéphane Roy : *Du « Brain-drain » au « Back-drain ». Le long chemin des biologistes français présents aux Etats-Unis.*

I- European Commission- 2003 - Third report on Science and Technology Indicators

II-National Science Foundation 2001: John Burelli : *Graduate students and Postdoctorates in science and Engineering*

III- Hamburg Institute of international Economics : 2000- Thomas Strabhaar : *International mobility of the highly skilled : Brain Drain, Brain Gain or Brain Exchange*

IV- Anne-Marie Gaillard et Jacques Gaillard 1999 : *Les enjeux des migrations scientifiques internationales- L'Harmattan*

Aux sources bibliographiques, il convient d'ajouter les participations écrites et orales ainsi que les suggestions de nombreux académiciens et d'experts extérieurs en particulier de Jacques Bodelle et Dominique Martin-Rovet.

Annexe 1

Annexe méthodologique

Le terme de « cerveau », utilisé dans l'expression journalistique « fuite des cerveaux » ne pouvant être défini objectivement, il est convenu ici, comme dans tous les travaux analytiques sur le sujet, de lui substituer l'expression « scientifiques et ingénieurs ».

Le problème de repérage de la population concernée n'en est pas pour autant totalement éclairci, car ces deux termes peuvent recouvrir, soit les caractéristiques des diplômes obtenus, soit les fonctions occupées.

De fait, ces deux critères de définition sont respectivement retenus par la NSF pour ses enquêtes sur la population de résidents français permanents aux Etats-Unis et par l'INS (Immigration and Naturalization Service), puisque ce dernier construit ses données de flux migratoires sur les déclarations des immigrants eux-mêmes à propos de leur profession.

Dans les propositions d'indicateurs faites ci-dessus, le critère retenu est celui de la NSF, c'est-à-dire celui du diplôme de plus haut niveau obtenu, d'abord parce que la population de base pour l'étude statistique est, comme pour cette institution, le stock de résidents français permanents et aussi parce que l'INS ne retient pas dans son dénombrement de « scientifiques et ingénieurs » les personnes ayant déclaré être « chercheur », « manager », « enseignant » ou sans profession.

Le groupe S&T, ayant été ainsi défini par les diplômes, il faut aussi préciser de quels diplômes il s'agit en niveau et en disciplines.

1) Niveau : les données SESTAT de la NSF recense toute la population titulaire de diplômes d'enseignement supérieur et la regroupe à trois niveaux : bachelors, masters, et PhD ; pour le sujet de la « fuite des cerveaux », il paraît légitime de ne considérer que les deux niveaux supérieurs, qui correspondent, pour les Français, d'une part, au niveau Bac+5 des écoles d'ingénieurs et des DEA et DESS et d'autre part, au niveau Bac+8 des doctorats.

2) Disciplines : pour définir le groupe S&T, la NSF ne retient pas tous les diplômes d'enseignement supérieur ; elle exclut, semble-t-il, les disciplines juridiques et médicales, mais inclut, en revanche, les sciences sociales, qui constituent d'ailleurs la masse la plus importante pour les Français résidents permanents aux Etats-Unis. Pour analyser la fuite des cerveaux, le même parti a été pris dans la note ci-dessus et 5 sous-groupes constituent le groupe S&I :

- a. Ingénierie
- b. Sciences de la vie
- c. Math et informatique
- d. Sciences physiques
- e. Sciences sociales

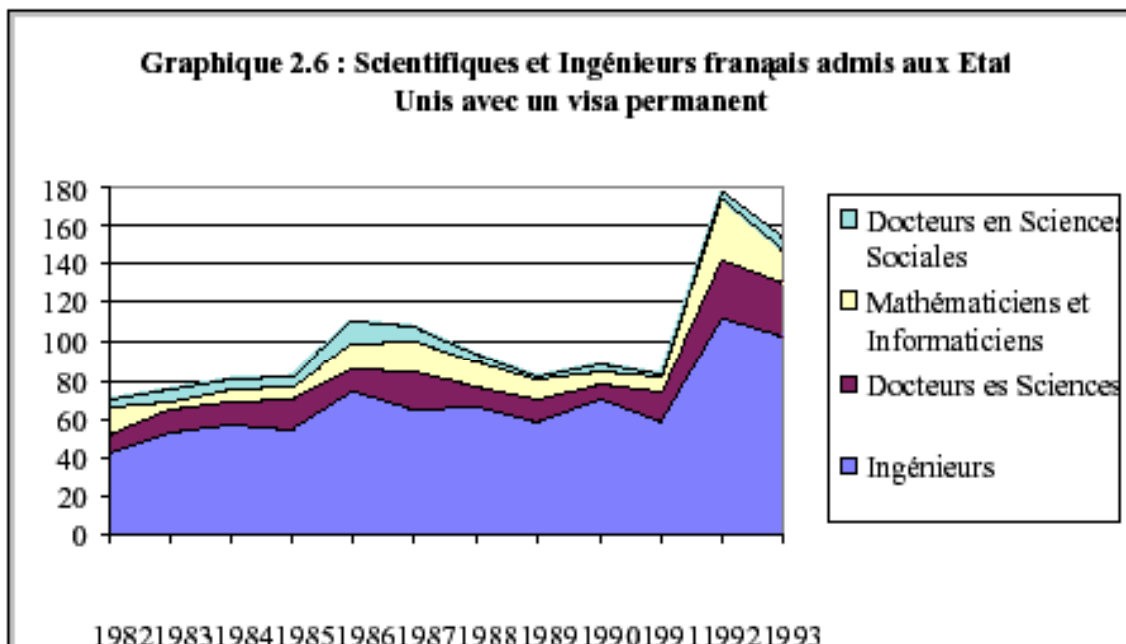
Annexe 2

Quelques données chiffrées fournies à titre d'illustrations et qui devraient être actualisées dans une analyse du phénomène actuel (source : Terouanne- op.cit)

I- En 1997 :

- Plus de 15 000 Français résidents permanents aux Etats-Unis et titulaires d'un diplôme d'enseignement supérieur,
- 57% de cette population a fait ses études secondaires aux Etats-Unis,
- 80% de cette population a obtenu son diplôme de plus haut niveau aux Etats-Unis,
- 70% de cette population soit plus de 10 000 personnes sont en STI répartis en :
 - a. ingénierie= 2841
 - b. Sciences de la vie= 2342
 - c. math et informatique= 1178
 - d. sciences physiques= 644
 - e. sciences sociales= 3655
- Presque 2000 Français résidents permanents aux Etats-Unis sont titulaires d'un doctorat en S&I, dont 36% de doctorats français, 55% de doctorats américains et 9% de doctorats obtenus dans un autre pays.

II- Flux annuels de scientifiques et ingénieurs français admis aux Etats-Unis avec un visa permanent



Voir Annexe 2.2.

Données : National Science Foundation/SRS, utilisant des données non publiées fournies par le U.S. Department of Justice / Immigration and Naturalization Services

Annexe 3

La fuite des cerveaux : une plainte récurrente

Le problème de la « fuite des cerveaux » d'Europe vers les Etats-Unis n'est pas nouveau et se pose depuis au moins un demi-siècle, à la fois sur le plan quantitatif et sur le plan qualitatif. On trouve déjà, en 1967, sous la plume de Bruce Williams, professeur d'économie à l'université de Manchester, dans *Le Monde diplomatique de Février 1967*, un diagnostic pessimiste sur la perte de matière grise européenne, dont auraient profité les Etats-Unis au cours des décennies précédentes et qui insiste davantage sur la qualité que sur la quantité de ces pertes.

D'après lui, en effet, « *de 1952 à 1963, le nombre des savants et des ingénieurs, ayant immigré aux Etats-Unis, a dépassé 4% du total des savants diplômés des universités américaines dans la même branche. La moitié des nouveaux venus étaient des Européens. Les Etats-Unis ont pu en tirer un gain plus important en qualité qu'en quantité. Beaucoup moins de 10% de l'ensemble des savants et ingénieurs travaillant dans ce pays ont été formés à l'étranger, mais le pourcentage monte à 20% pour les membres de l'Académie des sciences américaine et à presque 40% pour les prix Nobel américains de physique et chimie* »

et il conclut que « *la valeur de la fuite de matière grise en direction des Etats-Unis aurait pu dépasser la valeur totale de l'aide américaine à l'étranger depuis 1948* ».