

L'Outil CIPEGE: Pour une Anticipation Stratégique des Besoins en « Compétences Vertes »

C. Garrouste (LEO, LIPHA) et E. Courtial (PRISME)

Résumé

Le Centre International de Prospective de l'Emploi en Géosciences et Environnement (CIPEGE) développe depuis 2013 un outil d'anticipation des besoins en compétences dans le domaine des géosciences et de l'environnement en France à l'horizon 2020. Cet article présente les résultats préliminaires des premières simulations de l'outil CIPEGE qui se basent sur une combinaison de techniques d'anticipations économétriques et d'ingénierie des systèmes.

Mots clefs : Employabilité, diplômés, économie verte, emplois verts.

Codes JEL : I20; J24; J16; J62.

AFFILIATIONS DES AUTEURS

Christelle L. Garrouste

Laboratoire d'économie d'Orléans (LEO UMR 7322)

Laboratoire Interdisciplinaire d'Etude du Politique Hannah Arendt (LIPHA EA 7373)

Estelle Courtial

Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche en Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Energétique (PRISME, EA 4229)

COORDONNEES DE L'AUTEUR CORRESPONDANT

Christelle L. Garrouste

Université Paris XII (UPEC) - Faculté AEI

61 avenue du Général de Gaulle - 94010 Créteil Cedex

Courriel: christelle.garrouste@u-pec.fr

1. Introduction

Depuis le sommet de la Terre de Rio en 1992, les notions « d'économie verte » et « d'emplois verts » ont progressivement envahi les discours politiques et journalistiques. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (2011) définit l'économie verte comme une économie qui engendre une amélioration du bien-être humain et de la justice sociale, tout en réduisant sensiblement les risques environnementaux et les pénuries écologiques.

Plusieurs mesures ont été adoptées afin de favoriser la transition vers une économie verte au niveau international, telles que les quotas d'émissions de gaz à effet de serre adoptés en 1995 suite à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, le protocole de Kyoto, ou les objectifs « 20-20-20 » fixés par la Commission européenne en 2010 (réduction des émissions de gaz à effet de serre d'au moins 20 % par rapport aux niveaux de 1990 ou de 30 % si les conditions sont favorables; passage de la part des sources d'énergie renouvelable dans la consommation finale d'énergie à 20 %; et accroissement de 20 % de l'efficacité énergétique de l'Union européenne). En parallèle à ces objectifs globaux, les Etats-nations se sont fixés des objectifs propres afin d'accélérer le « verdissement » de leur économie (comme le « *Climate Change Act* » de 2008 en Grande-Bretagne, ou le Grenelle de l'environnement depuis 2007 en France). Dans le cas du Grenelle de l'environnement, des objectifs précis ont été fixés pour des domaines d'action prioritaires incluant l'amélioration énergétique des bâtiments, les transports, la réduction des consommations d'énergie et du contenu en carbone de la production, la préservation de la biodiversité, la maîtrise des risques, la préservation de la santé et le traitement des déchets.

La transition énergétique induite par ces mesures entraîne de nombreux changements dans l'ensemble de l'économie : dans la structure et la dynamique des marchés, dans les comportements sociétaux et dans la recherche et la formation. L'intégration des objectifs environnementaux dans l'activité économique induit un verdissement des emplois, qui engendre un essor des activités contribuant à réduire la consommation d'énergie et l'utilisation des matières premières, à diminuer les émissions de gaz à effet de serre, à limiter les déchets et la pollution et à protéger les écosystèmes (Organisation Internationale du Travail, 2012). Ainsi, l'économie verte inclut des emplois dont la finalité est la protection de l'environnement, des emplois qui exercent une pression faible sur l'environnement, mais aussi des emplois qui exercent une pression forte mais qui fournissent des secteurs verts (ex : la production d'aciers utilisés pour la construction d'éoliennes) (INSEE, 2012).

Selon cette définition, les secteurs d'activité concernés par l'économie verte sont ceux qui consistent à produire des biens ou services dont l'impact est faible sur l'environnement et/ou la finalité est la protection de l'environnement. Néanmoins, une activité dont la finalité est environnementale peut avoir un effet induit négatif sur l'environnement (ex : chimie des nouveaux engrais). Réciproquement, une activité dont la finalité première n'est pas la protection de l'environnement peut exercer une pression très faible sur l'environnement du point de vue du prélèvement de matières premières, de la production de déchets, ou de rejets dans l'eau ou l'air (ex : enseignement, secteur tertiaire). Comme le montre l'INSEE (2012) dans un dossier spécial sur l'économie verte, les industries lourdes, minières et la production d'électricité ne rentrent pas dans l'économie verte puisqu'elles exercent une pression très forte sur l'environnement et ont une finalité qui n'est pas la protection de l'environnement. A l'inverse, les activités de recherche et développement en efficacité énergétique sont doublement « vertes » puisque leur finalité est la protection de l'environnement et qu'elles exercent une pression faible sur l'environnement. Notons en outre que l'appartenance de tel ou tel secteur d'activité à

l'économie verte n'est pas figée. Notamment, en fonction de l'évolution technologique, un secteur peut voir son emprise environnementale décroître et entrer par conséquent dans l'ensemble des secteurs et industries de l'économie verte.

Aux vues de ces définitions théoriques et statistiques, les géosciences et autres sciences de l'environnement ressortent comme les disciplines de formation et de recherche les plus directement affectées par la transition vers une économie verte. Les géosciences incluent l'étude de l'atmosphère, de l'hydrosphère, des océans, de la biosphère et de la Terre solide.

C'est dans ce contexte que le Centre International de Prospective de l'Emploi en Géosciences et Environnement (CIPEGE) a été défini comme une action du LABEX Voltaire dédiée à l'étude des fluides géologiques et environnementaux et aux interactions entre Terre et atmosphère. Alors que les finalités économiques du LABEX concernent les ressources géologiques et l'environnement (sols, eau, aquifères, agro-écosystèmes, qualité de l'air), le CIPEGE a pour ambition de jeter les ponts entre le monde académique et les industries pour parvenir à une meilleure adéquation entre formation et emploi. L'objectif du CIPEGE est de développer un outil d'anticipation afin d'améliorer l'adéquation entre l'offre et la demande de compétences en géosciences et environnement. Ci-après, le terme géosciences désignera à la fois les géosciences et les sciences de l'environnement.

Ainsi, mesurer l'adéquation entre l'offre et la demande de compétences revient à estimer l'« employabilité » des jeunes diplômés en géosciences¹. Proposer une mesure de l'employabilité n'est pas trivial du fait du caractère controversé du concept même d'employabilité (Gazier, 1998 ; McQuaid, 2005 ; Arjona et al., 2010). Jusqu'à présent aucune mesure n'est parvenue à refléter toutes les dimensions de ce concept. Au contraire, McQuaid (2005) précise que l'on peut regrouper en deux catégories les types de mesures de l'employabilité en fonction de la perspective adoptée. La première se focalise sur les caractéristiques individuelles et les compétences et fait référence à l'aptitude d'un individu à trouver un travail. La seconde prend en compte des facteurs exogènes (tels que les institutions du marché du travail, le statut socio-économique de l'individu, etc.) qui peuvent influencer la probabilité d'un individu à trouver un emploi, à évoluer entre deux emplois et à progresser dans son travail. Selon De Grip (2004), ces facteurs sont des conditions sous lesquelles un travailleur peut « effectuer » son employabilité (« *effectuation conditions* »). La littérature prend également en compte le rôle joué par la durée de transition entre le moment de l'obtention du dernier diplôme et le premier emploi (Boateng et al., 2011), le degré d'adéquation entre la formation et le poste occupé ou le type de contrat (plein temps ou temps partiel ; contrat à durée indéterminée ou à durée déterminée) (Arjona et al., 2010).

L'employabilité est donc la capacité d'obtenir un premier emploi, de maintenir un emploi et d'obtenir un nouvel emploi si besoin (Cedefop, 2008). En d'autres termes, l'employabilité d'un jeune diplômé est sa prédisposition à exhiber les attributs qu'un employeur anticipe comme essentiels pour le bon fonctionnement de son organisation (Harvey, 1998). L'employabilité est aussi définie comme une combinaison de capacité et de volonté à être et à demeurer attractif pour le marché du travail (De Grip, 2004). Pour un individu donné, son employabilité va dépendre de ses connaissances, de ses compétences, de son attitude, et de la manière dont il en fait usage et les présente à un futur employeur (Hillage, 1998).

Dans le cadre de l'outil CIPEGE, nous retenons une approche de l'employabilité par type de poste, en définissant l'employabilité comme la capacité des jeunes diplômés des universités

¹ L'approche adoptée d'identification des besoins en compétences s'inscrit dans les travaux relatifs au capital humain et diffère d'autres approches, comme la GPEC en ressources humaines, par exemple.

françaises en géosciences à être employés à un poste qui exploite leurs compétences en géosciences, tout en tenant compte des tendances de la demande internationale pour ce type de compétences.

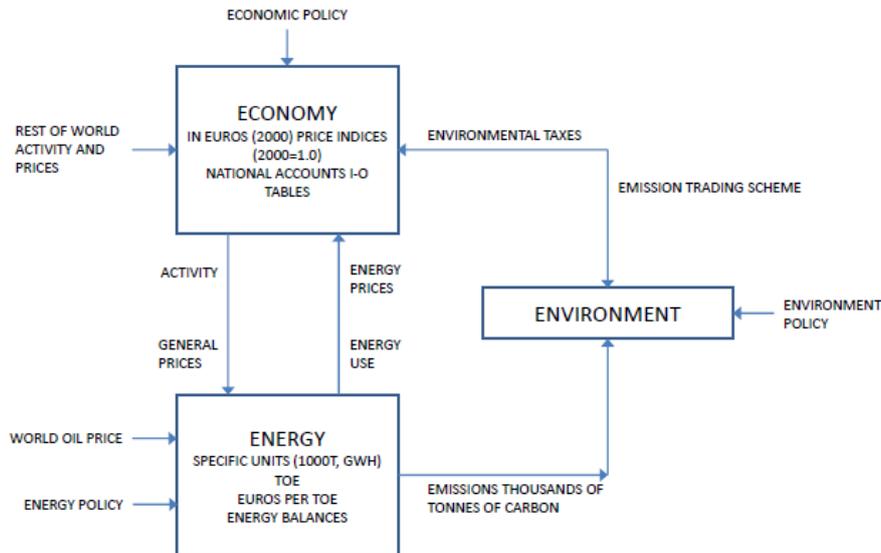
Cet article présente les premiers résultats de l'outil d'anticipation développé par le CIPEGE. Alors que la section 2 sera dédiée à un aperçu de l'emploi dans le domaine des géosciences et environnement en Europe et en France, la section 3 présentera la méthodologie sous-jacente à l'outil CIPEGE. Cet outil d'anticipation combine des stratégies de modélisation utilisées traditionnellement en économie (théorie d'appariement et multinomial logit) et en ingénierie des systèmes (modèle interne et commande prédictive). Les résultats de nos simulations seront présentés et interprétés dans la section 4. La dernière section servira enfin à discuter les potentialités et les limites de l'outil CIPEGE aux vues des résultats obtenus.

2. Les géosciences et l'emploi

2.1. La transition énergétique et l'emploi en Europe

A l'aide de son modèle macroéconomique E3ME (Economics, Environment and Energy Model for Europe) (cf. Box 1), Cambridge Econometrics (2011) a procédé à une analyse approfondie des conséquences sur l'emploi de la mise en œuvre des politiques européennes pour atteindre les objectifs environnementaux « 20-20-20 ». Les résultats de ce projet révèlent des tendances très hétérogènes par secteur d'activité. Alors que certains secteurs, tels que le fer, l'acier, le ciment et le pétrole, connaîtront une baisse de l'emploi d'ici 2020, d'autres secteurs, tels que les énergies renouvelables, la construction et le transport, connaîtront une croissance de l'emploi. Les professions qui bénéficieront le plus d'une transition vers une plus faible émission de carbone sont l'ingénierie et les professions techniques liées à la production d'électricité à partir de ressources naturelles (vents, eau, soleil), c'est-à-dire des professions hautement qualifiées (Wilson, 2010). Le rapport met également en exergue le fait que la demande devrait s'accroître d'autant plus pour certains types d'ingénieurs et de techniciens, qui ne seront pas seulement hautement qualifiés dans leur discipline (ex : ingénierie électronique), mais seront capables d'appliquer leurs connaissances dans un contexte professionnel « verdissant » et à des postes aussi variés que la recherche & développement, le design, la maintenance et le management.

Box 1. Modèle E3ME



Cette figure montre les liens entre les trois modules (énergie, environnement et économie) du modèle E3ME. Les facteurs exogènes sont présentés sur le bord extérieur de la figure comme entrants dans chaque module. Pour l'économie de l'Union européenne (UE), ces facteurs sont l'activité économique et les prix hors-UE, ainsi que les politiques économiques (ex : taux d'imposition, croissance des dépenses publiques, taux d'intérêt et taux de change). Pour le système énergétique, les facteurs externes sont les prix mondiaux du pétrole et les politiques énergétiques (ex : réglementation des industries de l'énergie). Pour la composante de l'environnement, les facteurs exogènes comprennent des politiques telles que la réduction des émissions de CO₂. Les liens entre les modules sont présentés explicitement par les flèches qui indiquent les valeurs qui sont transmises entre les composants.

Le module économique est résolu comme un modèle régional intégré de l'UE. Le marché du travail est traité par un ensemble d'équations de la demande d'emploi, de l'offre de travail, des gains moyens et des heures travaillées. Les équations de la demande de travail, les salaires et les heures travaillées sont des estimations résolues pour 42 secteurs économiques (industries), définis au niveau NACE (Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne) à 2 chiffres. Les taux de participation au travail sont désagrégés par groupes d'âge de cinq ans et par sexe, puis multipliés par des données démographiques d'Eurostat pour obtenir l'offre de travail. L'emploi est modélisé à l'aide des données de la comptabilité nationale, comme le nombre total des effectifs pour chaque industrie et région. Ce stock est une fonction de l'évolution du chômage et des emplois vacants (en fonction de la production industrielle, des salaires, des heures travaillées et du progrès technique), des changements globaux dans les politiques environnementales et des prix de la consommation d'énergie. La production de l'industrie est supposée avoir un effet positif sur l'emploi, tandis que l'effet de la hausse des salaires et des heures de travail plus longues est supposé être négatif. Les effets du progrès technique sont ambigus car l'investissement peut créer ou remplacer le travail selon le secteur d'activité.

Le modèle E3ME a été étendu pour inclure des analyses détaillées de l'offre et de la demande de compétences, telles que mesurées par l'occupation et la qualification. Trois niveaux de qualification ont été définis, à savoir faible (CITE 0-2), moyen (CITE 3-4) et élevé (CITE 5-6). Cette version étendue calcule le stock de la demande de travail par secteur, profession et niveau d'éducation.

Nous avons exécuté l'algorithme du modèle E3ME afin d'obtenir la demande d'emploi par secteur pour les diplômés des universités, à la fois au niveau européen agrégé et pour la France. Les courbes de tendance à l'horizon 2020 présentées dans le Graphique 1 illustrent les similitudes et les différences entre le marché du travail en France et le marché du travail européen, pris à son niveau agrégé. Les courbes montrent que la France suit les tendances européennes dans différents secteurs clés d'extraction et d'exploitation des ressources minières, tels que l'industrie des produits minéraux non-métalliques et l'industrie du charbon,

avec une tendance à la hausse du nombre de travailleurs demandés avec un diplôme de niveau universitaire et à la baisse pour les travailleurs avec un faible niveau de diplôme. Notons toutefois que la baisse observée en France dans l'industrie du charbon est bien plus prononcée qu'au niveau européen. Pour les industries d'extraction et d'exploitation des métaux de base et du pétrole et du gaz, la France révèle une tendance inversée par rapport à la moyenne européenne. Alors que l'emploi des diplômés du tertiaire va progressivement diminuer en Europe dans les secteurs des métaux de base, du pétrole et du gaz, il va augmenter en France.

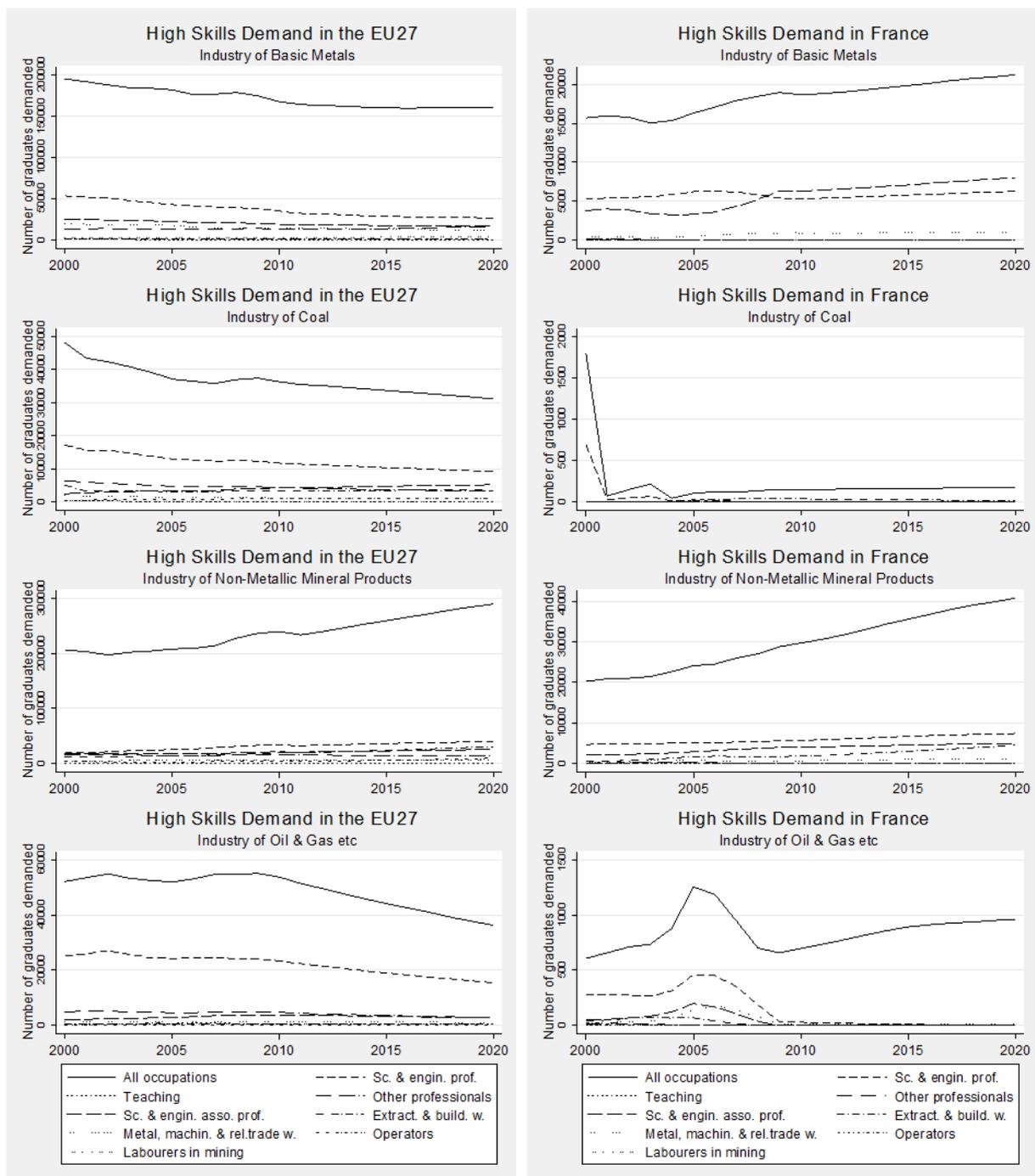
Au-delà de ces tendances globales (représentées par une ligne pleine sur les graphiques), il est intéressant de regarder les tendances de l'emploi au niveau désagrégé du type de poste afin d'avoir une idée plus précise du niveau de diplôme qui sera demandé à terme. Si l'on regarde les industries des métaux de base, on observe que les emplois en expansion dans les années qui viennent sont essentiellement des emplois en tant que scientifiques et ingénieurs associés, c'est-à-dire des diplômés de niveau Bac+3 ou Bac+4, au détriment des scientifiques et ingénieurs diplômés au niveau Bac+5 ou Bac+8. Cette tendance au profit de compétences techniques non spécialisées confirme les résultats obtenus par Cambridge Econometrics (2011) au niveau européen. Ces résultats très généraux nous donnent déjà un aperçu du type de diplômes qui vont être prisés par le marché dans les années à venir, en termes de thématique mais aussi de niveau.

2.2. L'emploi en géosciences en France

Après avoir analysé les tendances de l'emploi dans les industries traditionnellement associées aux géosciences, nous avons étudié les parcours professionnels des diplômés en géosciences et environnement afin de vérifier si leur diplôme les entraînait bien vers ces industries. Une première analyse des données individuelles annualisées de l'enquête emploi de l'INSEE sur la période 2003-2011 nous donne un aperçu de la répartition des diplômés en sciences de la Terre et de l'univers par industrie pour chaque niveau de diplôme. A partir de la Licence (Bac+3), le secteur principal d'insertion de ces géoscientifiques est l'éducation (40% des Bac+3, 62% des Bac+4, 21% des Bac+5 et 30% des Bac+8), suivi de près par le secteur des services professionnels, c'est-à-dire les emplois de consulting et d'expertise. La place importante jouée par ce dernier secteur est un phénomène relativement récent qui a émergé en 2008 suite à la crise économique et qui a engendré une hausse des emplois temporaires hautement qualifiés (Cutuli, 2013 ; Oliver, 2012 ; O'Connor, 2013). Dans le cas des diplômés de niveau Bac+2, le secteur le plus attractif est l'administration publique et la défense (27%). Le tableau 1 résume cette distribution.

Il est intéressant de constater que le niveau de diplôme qui garantit le mieux un emploi dans des secteurs en relation avec la formation (en gris dans le tableau 1) est le Master (Bac+5) avec des emplois dans 13 secteurs dits « verts » ou « verdissants » sur les 19 secteurs d'insertion effective. Suivent ensuite, en ordre décroissant, les Bac+4, Bac+8 et Bac+2/3. De plus, certains secteurs ne semblent recruter des géoscientifiques qu'au-delà d'un certain niveau de diplôme. C'est le cas des secteurs du bois et du papier (uniquement des Bac+4), des secteurs de l'énergie hydraulique, de l'industrie pétrolière et gazière (Bac+4 et Bac+5).

Si l'on considère que l'employabilité d'un diplômé ne se limite pas à sa capacité à trouver un emploi, mais qu'elle consiste en sa capacité à trouver un emploi dans son domaine de formation, le fait qu'au moins 25 % des diplômés en géosciences soient employés dans des secteurs d'insertion non directement liés à la thématique initiale de formation signale une inadéquation entre la formation offerte et la formation demandée (« *mismatch* » de compétences) sur ce marché.



Graphique 1. Evolution de la demande de diplômés du tertiaire (Bac+2 à Bac+8) entre 2000 et 2020 par secteur d'activité, dans l'ensemble de l'Union Européenne (EU27) et en France

Source : Estimations des auteurs à partir du modèle E3ME.

Notes : « All occupations » : Tous types d'occupations/fonctions quel que soit le niveau d'études; « Sc. & engen. prof. » : Scientifiques et ingénieurs professionnels ; « Sc. & engen. asso. prof. » : Scientifiques et ingénieurs associés professionnels ; « Metal. machin. & rel. trade w. » : machinistes et autres travailleurs et commerciaux en métallurgie ; « Labourers in mining » : travailleurs miniers ; « Teaching » : Enseignement ; « Otherprofessionals » : Autres professionnels qualifiés ; « Extract. & build. w. » : Travailleurs en extraction et construction ; « Operators » : Opérateurs. Les résultats pour les autres secteurs d'activité (industries) sont disponibles auprès des auteurs.

Tableau 1. Distribution des emplois pour les diplômés en sciences de la terre et de l'univers, par niveau de diplôme et secteur d'activité

	BAC+2	BAC+3	BAC+4	BAC+5	BAC+8
Agriculture	<0,1%	2%	0,2%	4%	0,4%
Transport aérien	<0,1%	<0,1%	<0,1%	3%	<0,1%
Métaux de base	<0,1%	4%	<0,1%	2%	<0,1%
Produits chimiques	5%	<0,1%	1%	<0,1%	<0,1%
Construction	4%	5%	0,2%	5%	4%
Education	9%	40%	62%	21%	30%
Ingénierie électronique	<0,1%	<0,1%	<0,1%	1%	3%
Transport routier	4%	3%	<0,1%	<0,1%	<0,1%
Carburants fabriqués	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	7%
Ingénierie mécanique	2%	1%	<0,1%	9%	19%
Produits métalliques	<0,1%	3%	0,2%	<0,1%	<0,1%
Motorisation/véhicules	4%	<0,1%	<0,1%	1%	<0,1%
Pétrole et gaz	<0,1%	<0,1%	1%	1%	<0,1%
Services professionnels/experts	8%	4%	6%	16%	16%
Transport de l'eau	<0,1%	<0,1%	0,4%	2%	<0,1%
Bois et papier	<0,1%	<0,1%	1%	1%	<0,1%
Administrations publiques et defense	27%	4%	7%	11%	11%
Banque et finance	1%	<0,1%	2%	1%	<0,1%
Communications	1%	4%	<0,1%	<0,1%	<0,1%
Services informatiques	4%	<0,1%	3%	5%	0,4%
Distribution	5%	<0,1%	0,2%	6%	<0,1%
Santé et travail social	9%	7%	4%	<0,1%	1%
Hôtels et traiteurs	<0,1%	1%	3%	<0,1%	<0,1%
Assurance	<0,1%	<0,1%	1%	<0,1%	3%
Autres services	9%	11%	3%	10%	3%
Services en gestion et administration des affaires	<0,1%	<0,1%	1%	0,3%	3%
Produits pharmaceutiques	7%	4%	<0,1%	2%	0,4%
Imprimerie et publication	<0,1%	4%	<0,1%	<0,1%	<0,1%
Commerce de détail	1%	6%	3%	<0,1%	<0,1%
Nb obs. annuelles moyen (1990-2011)	2010	2402	6756	4514	3378

Source : Estimation des auteurs à partir des données individuelles de l'enquête Emploi de l'INSEE sur la période 1990-2011. Note : Les secteurs d'activité en gris correspondent aux secteurs traditionnellement associés aux formations en sciences de la terre et de l'univers (liste établie en concertation avec le Ministère de l'Éducation Supérieure et Recherche et l'Observatoire des Sciences de l'Univers d'Orléans).

Cette perte de compétences en géosciences au profit de secteurs non directement demandeurs de ce type de compétences pénalise les secteurs demandeurs et la non-exploitation des compétences acquises durant la formation constitue une source potentielle d'insatisfaction des travailleurs, surtout dans les premières années suivant l'obtention du diplôme (Boras, Legay, Romani, 2008).

3. Le CIPEGE : vers un outil d'anticipation interdisciplinaire de l'employabilité

3.1. Modéliser l'employabilité

L'objectif de l'outil CIPEGE étant d'anticiper l'employabilité des jeunes diplômés des universités françaises en géosciences et sciences de l'environnement, il est dans un premier temps nécessaire de définir le modèle retenu pour capturer cette employabilité.

Soit y_j^F le nombre d'individus employés en France qui ont un diplôme en géosciences de niveau $bac + j$, avec $j \in \{2,3,4,5,8\}$. Un niveau $j = 2$ correspond à un DEUG ou DUT, $j = 3$ à une Licence, $j = 4$ à une Maîtrise (Master I depuis 2004), $j = 5$ à un DEA/DESS ou Master II (depuis 2004) et $j = 8$ à un Doctorat. Pour chaque niveau de diplôme j , le nombre de diplômés employés en France à l'instant t est :

$$y_j^F(t) = S_j^F(t) - un_j^F(t) \quad (1)$$

Avec S_j^F le stock de compétences en géosciences (c'est-à-dire le nombre de diplômés en géosciences parmi la population active) et un_j^F le stock de diplômés en géosciences au chômage sur le marché français.

L'employabilité est déterminée par le nombre de diplômés de géosciences employés en France à un poste exploitant leurs compétences en géosciences, en tenant compte de l'évolution du nombre de demandeurs d'emplois avec un diplôme en géosciences et du nombre de postes vacants dans ce domaine au niveau européen. La dynamique de l'emploi est formalisée par l'équation (2) :

$$y_j^F(t+1) = m_j^{EU}(t) + (1 - \delta)y_j^F(t) = \mu(un_j(t))^a(v_j(t))^b + (1 - \delta)y_j^F(t) \quad (2)$$

avec $y_j^F(t+1)$ le nombre d'employés en France parmi les diplômés en géosciences à l'instant $t+1$, $m_j^{EU}(t)$ le paramètre de « *matching* » (correspondance) à l'instant t sur le marché européen, un_j le stock de chômeurs parmi les diplômés en géosciences en Europe; v_j le nombre de postes vacants dans le domaine des géosciences au niveau Bac+ j , pour tout $j \in \{2,3,4,5,8\}$ et δ le flux de destruction d'emplois. Le terme d'adéquation sur le marché du travail européen, $m_j^{EU}(t)$, est dérivé d'une fonction de « *matching* », telle que définie par Mortensen et Pissarides (1994), c'est-à-dire une fonction Cobb-Douglas croissante, concave et homogène de degré 1 ($a + b \approx 1$), dont les paramètres μ , a et b sont constants et positifs. L'évolution du chômage est donnée par :

$$un_j = \delta(1 - un_j) - m_j^{EU}(un_j, v_j). \quad (3)$$

Supposons qu'il existe une technologie d'appariement, c'est-à-dire une description de la relation entre les entrées, la recherche et l'activité de recrutement, et la sortie du processus d'appariement, le débit auquel chômeurs et emplois vacants forment un nouveau singleton emploi-travailleur (Pissarides et Mortensen, 1999). Sous l'hypothèse que cette technologie d'appariement présente des rendements constants, cette équation a une solution stable unique pour tous les taux de vacance v :

$$un_j = \frac{\delta}{[\delta + m_j^{EU}(v_j/un_j, 1)]} = \frac{\delta}{(\delta + \lambda(\theta))} \quad (4)$$

où $\theta = (v_j/un_j)$ dénote les tensions sur le marché et $\lambda(\theta) = m_j^{EU} (v_j/un_j, 1)$ le risque de tomber au chômage. Représenter l'équation (4) dans un espace vacance-chômage génère une courbe de Beveridge, c'est-à-dire une relation négative entre les postes vacants et le chômage par propriété de la fonction de « *matching* » (voir les détails dans Pissarides et Mortensen, 1999).

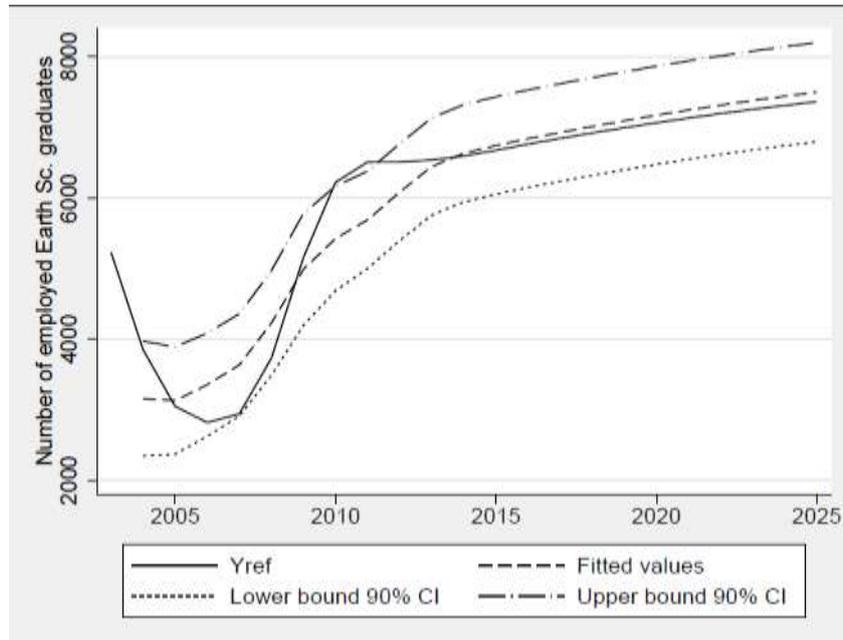
Les données empiriques montrent que le flux de destruction d'emplois, δ , n'est pas constant, en particulier sur la fréquence des cycles d'affaires (Davis, 1996). Selon Pissarides et Mortensen (1999), cela permet de faire varier la productivité future de l'emploi p en fonction de la valeur relative (en termes de compétences requises) x du produit ou du service. Parce que $x \in [0,1]$, px peut prendre plus de deux valeurs. Selon Pissarides et Mortensen (1999), Mortensen et Pissarides (1994) et Cole (1996), le fait de considérer p comme un processus stochastique caractérisant un choc global, est compatible avec le temps de destruction et de création d'emplois signalé par les séries sur l'emploi (Davis, 1996).

Quand un chômeur et un employeur avec une vacance se rencontrent, les négociations salariales commencent. Il en résulte un salaire $w(x)$ qui divise les quasi-rentes associées à un appariement entre le travailleur et l'employeur, en fonction de la valeur de x . La valeur d'un emploi occupé est une fonction de la productivité du travail future, du salaire négocié et de la probabilité de destruction de l'emploi. La création d'emplois a lieu si tous les loyers de la création de nouveaux postes vacants sont épuisés, c'est à dire si $v_j = 0$. Un emploi est détruit si sa productivité idiosyncrasique tombe en dessous d'un niveau critique rs (productivité de réservation d'équilibre), c'est à dire si $x < rs$.

Tous les paramètres du modèle sont estimés à l'aide des données individuelles anonymes de l'enquête Emploi de l'INSEE (1990-2011), à l'exception du paramètre de « *matching* » (m_j^{EU}) qui est estimé à l'aide de la version étendue du modèle E3ME développé par Cambridge Econometrics (1974-2012). Le modèle E3ME est un modèle à correction d'erreur, qui intègre l'erreur d'estimation à chaque instant t dans l'estimation des coefficients en $t+1$. Les données de l'INSEE nous permettent d'estimer directement le flux de destruction d'emplois, δ , ainsi que l'emploi actuel des diplômés en géosciences en France, pour chaque niveau de diplôme $bac+j$, $y_j^F(t)$, par la méthode des moindres carrés ordinaires, en contrôlant chaque secteur d'activité.

L'utilisation du E3ME pour l'estimation du paramètre de *matching* nous permet de capturer, de manière indirecte, l'impact des chocs environnementaux et énergétiques sur la demande de compétences en géosciences grâce à la structure du E3ME (cf. Box 1). Nous faisons tourner le modèle E3ME au niveau agrégé (c'est-à-dire pour l'ensemble des pays européens) afin de générer le stock de demande pour les travailleurs les plus hautement qualifiés (i.e. CITE5-6), par secteur (selon la classification NACE) et par niveau d'occupation (selon la classification CITP-08). A l'aide des données individuelles de l'enquête Emploi de l'INSEE pour les années 1990 à 2011, nous identifions les secteurs d'exercice et les niveaux d'occupation des diplômés en géosciences en France, selon leur niveau de diplôme (cf. Tableau 1). Le nombre de travailleurs demandés en géosciences en Europe avec un niveau de compétences j , m_j^{EU} , est obtenu en fusionnant les données précédemment estimées à l'aide du modèle E3ME à celles de l'INSEE, sur la base de ces matrices activité/occupation, par niveau de diplôme. Le paramètre m_j^{EU} est ensuite intégré à l'équation (2) afin d'estimer le nombre de diplômés en géosciences, au niveau $bac+j$, qui seront employés à la période suivante.

Cette valeur anticipée de la demande des marchés pour des diplômés en géosciences constitue notre employabilité de référence, c'est-à-dire l'objectif à atteindre (Graphique 2). Or, ce qui nous intéresse, c'est de comprendre comment le système universitaire français peut ajuster son offre de diplômés en géosciences afin de répondre à cette demande des marchés. Il s'agit donc maintenant de développer un outil d'anticipation de la demande qui va être sensible à des ajustements de l'offre de diplômés en géosciences. C'est ce que l'outil CIPEGE se propose de faire à l'aide d'une approche de commande prédictive (*Model Predictive Control*).



Graphique 2. Employabilité des diplômés de Master (Bac+5) en géosciences de 2003 à 2025

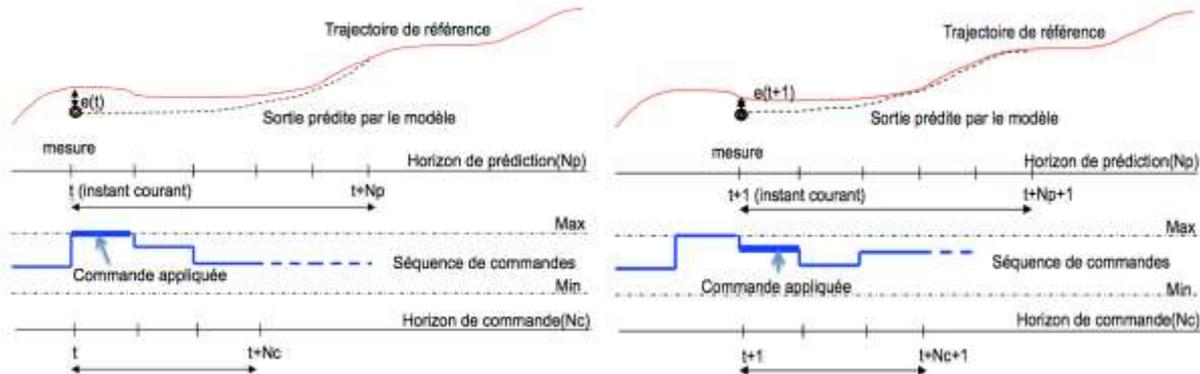
Source : Estimation des auteurs à partir des données du E3ME et de l'enquête Emploi de l'INSEE.

Notes : Les valeurs jusqu'à 2012 sont estimées à partir de données observées. Au-delà de 2012, les valeurs sont estimées par extrapolation linéaire (équation (2)) dans un intervalle de confiance de 90%.

3.2. Anticiper l'évolution de l'employabilité: approche de commande prédictive

Les approches de commande prédictive font partie des approches de commandes avancées des procédés, linéaires ou non-linéaires, continus ou discrets, avec ou sans retard. Initialement développées pour des procédés linéaires dans les années 1970 dans le milieu pétrochimique, les commandes prédictives (CP) se sont imposées au fil du temps dans de nombreux domaines industriels (automobile, agroalimentaire, énergie –nombreuses applications pour la gestion optimisée de la consommation énergétique des bâtiments-) et sont aujourd'hui les commandes les plus utilisées (Alessio, 2009 ; Qin, 2003). Toutes les CP ont en commun les trois points suivant : une trajectoire de référence, un modèle du procédé et un critère d'optimisation. La stratégie des CP se base sur le principe de l'horizon glissant (« *moving or receding horizon* ») et l'objectif de commande est formulé en un problème d'optimisation non-linéaire (Camacho, 2007). Comme illustré par le Graphique 3, à l'instant courant t , la sortie du procédé est mesurée. L'utilisation explicite d'un modèle du procédé permet de prédire le comportement du procédé sur un horizon futur fini, N_p , appelé horizon de prédiction. Il s'agit alors de déterminer une séquence de N_c commandes, où N_c est l'horizon de commande, permettant de minimiser la différence entre la trajectoire de référence et la sortie prédite par le modèle sur l'horizon N_p .

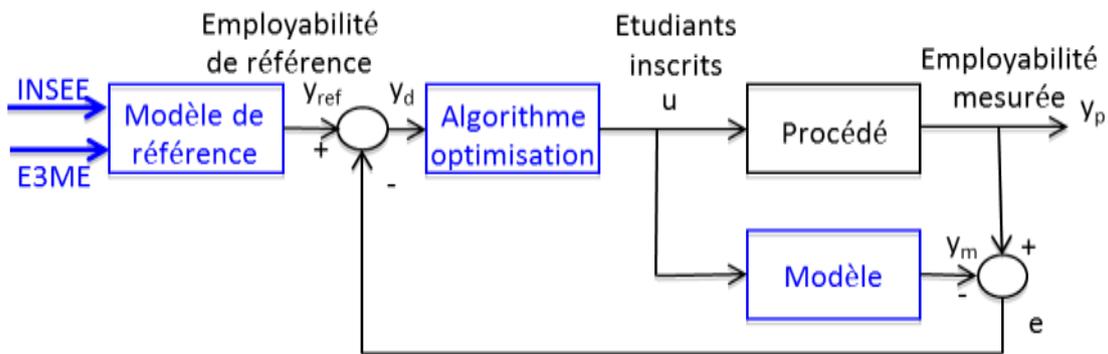
Seule la première composante de cette séquence est réellement appliquée au procédé. A l'instant suivant $t+1$, l'horizon de prédiction glisse d'une période d'échantillonnage, les mesures sont actualisées et toute la procédure est répétée. Le terme « prédiction » est ici synonyme d'anticipation ou prévision. Etant donnée sa formulation en un problème d'optimisation, la CP peut facilement prendre en compte des contraintes, notamment sur les états et les entrées (commandes) du procédé.



Graphique 3. Principe de l'horizon glissant

La trajectoire de référence correspond au comportement souhaité du procédé. Dans notre cas, la trajectoire de référence y_{ref} à poursuivre correspond à l'employabilité des diplômés des universités françaises en géosciences et environnement. Le « procédé » est la capacité des universités françaises à produire les compétences en géosciences et environnement demandées par le marché (aussi bien en qualité -niveau et type de formation- qu'en quantité -nombre de diplômés-). Nous mesurons cette capacité comme étant le nombre de diplômés en géosciences formés par les universités françaises chaque année, c'est-à-dire à chaque instant t . L'objectif de commande est d'améliorer l'employabilité des diplômés en géosciences et environnement en agissant sur le procédé, par l'ajustement du nombre de diplômés entrant sur le marché du travail chaque année.

Les prédictions basées sur des données sont inévitablement sujettes à des perturbations et à des erreurs de modélisation. Afin de gagner en robustesse, nous utilisons une structure de commande à modèle interne (*Internal Model Control*), largement reconnue en Automatique que nous avons adaptée à notre problématique d'employabilité (cf. Graphique 4).



Graphique 4. Structure de commande CIPEGE

Le modèle décrit mathématiquement le comportement du procédé. Afin de prédire l'évolution du nombre de diplômés en géosciences que la France va pouvoir produire sur un horizon N_p , le modèle interne que nous avons choisi est un modèle logit multinomial/conditionnel (McFadden, 1974).

Supposons qu'avant chaque rentrée universitaire, les étudiants disposent d'un choix discret Y_i entre A alternatives de parcours, dont une option de sortie, une option de redoublement et une option de poursuite. Soit U_{ia} la fonction d'utilité de l'étudiant i choisissant l'option a , qui dépend d'une composante systématique η_{ia} et d'une composante aléatoire ε_{ia} , telle que le vecteur $\varepsilon_i = (\varepsilon_{i1}, \dots, \varepsilon_{iA})$ a une distribution normale multivariée avec un vecteur de moyennes nulles et une matrice de corrélations arbitraires R . Nous supposons que les étudiants sont rationnels, c'est-à-dire qu'ils maximisent leur utilité. L'étudiant i choisira l'alternative a si U_{ia} est la plus grande parmi $\{U_{i1}, \dots, U_{iA}\}$. La probabilité que l'individu i choisisse l'alternative a est :

$$\pi_{ia} = \Pr[Y_i = a] = \Pr[\max(U_{i1}, \dots, U_{iA}) = U_{ia}]. \quad (5)$$

L'avantage principal de ce modèle est qu'il permet de corréler les utilités qu'un étudiant assigne aux différentes alternatives de parcours.

Le nombre d'étudiants w_s inscrits chaque année en filière s , va dépendre de cette probabilité de parcours individuel et du flux d'étudiants observé. Ainsi, le nombre d'étudiants qui choisit l'alternative a chaque année est donné par :

$$\hat{N}(t) = \sum_{s=1}^S w_s P_{sa} = y_m \quad (6)$$

où P_{sa} est la probabilité (résultat de l'équation (5)) qu'un étudiant en filière s choisisse l'alternative a .

L'hypothèse de rationalité inhérente à ce modèle est évidemment difficilement vérifiable, mais indispensable pour la construction de notre analyse. L'un des objectifs de l'outil CIPEGE étant de fournir une information aux étudiants sur les filières les plus porteuses en terme d'emploi, nous espérons néanmoins, qu'à terme, cette information sera exploitée de manière de plus en plus systématique par les nouveaux entrants afin de rendre leur décision plus rationnelle (ou du moins, moins irrationnelle). Notre modèle logistique utilise des données administratives annuelles sur le nombre d'inscrits et de diplômés par université, filière et niveau de diplôme, des données individuelles sur les parcours d'étude des étudiants recueillies dans le serveur des universités « Apogée », ainsi que des données de l'enquête d'insertion des diplômés dans les 18 mois suivant l'obtention de leur diplôme, recueillie chaque année par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

Le critère d'optimisation traduit l'objectif de commande, à savoir la poursuite de la trajectoire de référence. D'après le Graphique 4, nous pouvons écrire :

$$y_d(t) = y_{ref}(t) - e(t) = y_{ref}(t) - (y_p(t) - y_m(t)) \quad (7)$$

$$y_d(t) - y_m(t) = y_{ref}(t) - y_p(t). \quad (8)$$

Imposer à la sortie du procédé y_p de poursuivre la trajectoire de référence y_{ref} est équivalent à imposer à la sortie du modèle y_m de poursuivre la trajectoire désirée y_d . On peut définir la fonction de coût comme une fonction quadratique de l'erreur de poursuite $\varepsilon_p = y_d - y_m$.

La trajectoire de référence y_{ref} étant connue sur l'horizon de prédiction, la trajectoire désirée peut être calculée de la façon suivante :

$$y_d(k) = y_{ref}(k) - e(t), \quad t \in [t + 1, t + N_p]. \quad (9)$$

On suppose que l'erreur $e = y_p - y_m$, calculée à chaque nouvelle mesure, est constante sur N_p . Ce signal, représentant les perturbations et les erreurs de modélisation, constitue le retour d'information qui va impacter la trajectoire de référence y_{ref} .

L'objectif de commande s'écrit finalement comme un problème de minimisation de la fonction de coût J , fonction quadratique de l'erreur de poursuite $\varepsilon_p = y_d - y_m$:

$$\min_{\tilde{u}} J(u) = \sum_{k=t+1}^{t+N_p} \varepsilon_p(k)^T Q(k) \varepsilon_p(k) + \delta u(k-1)^T R \delta u(k-1) \quad (10)$$

où Q et R sont des matrices symétriques définies positives, $\delta u(k-1) = u(k-1) - u(k-2)$, $\tilde{u} = \{u(t), u(t+1), \dots, u(t+N_c), \dots, u(t+N_p-1)\}$ est la séquence de N_c commandes à déterminer avec $N_c < N_p$. Seule la première commande $u(t)$ est réellement et simultanément appliquée au procédé et au modèle interne. La procédure est réitérée à l'instant d'échantillonnage suivant, conférant robustesse et efficacité à la commande prédictive.

4. Simulations²

Nous ne présentons dans ce papier que les procédures et résultats des simulations pour les diplômés de Master ($j = 5$). Les procédures et résultats pour les diplômés de Licence ($j = 3$) sont disponibles sur simple demande auprès des auteurs.

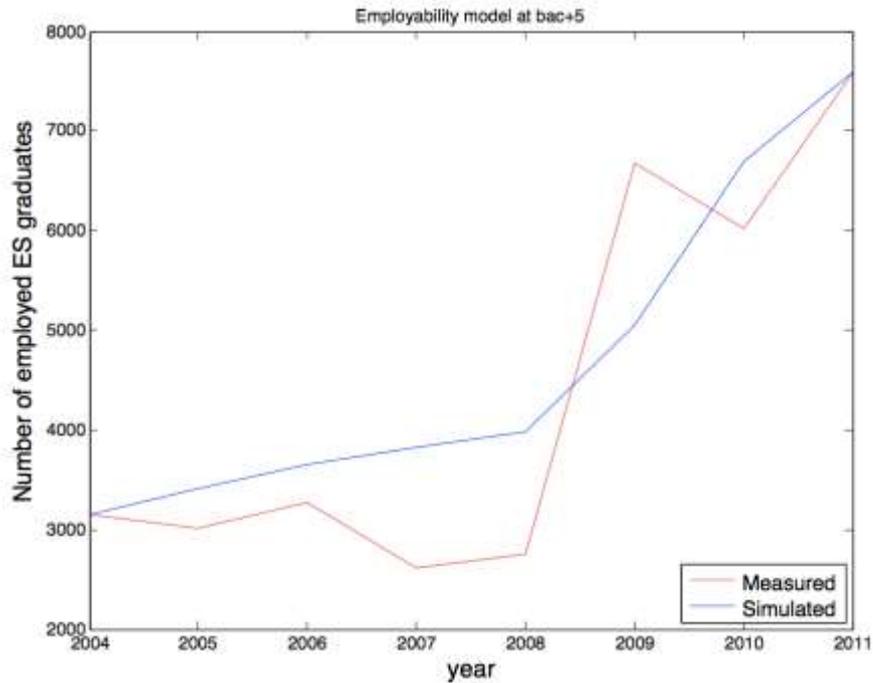
La commande testée dans le cadre de ces simulations agit sur le nombre d'étudiants inscrits en géosciences en début de diplôme (Licence 1 et Master 1) pour répondre aux variations de la demande des marchés.

Grâce à une procédure d'identification, nous obtenons un modèle qui reproduit le processus avec un taux d'erreur relative ($e = y_p - y_m$) de 9% (cf. Courtial et Garrouste, 2014, pour une description détaillée de la procédure d'identification). Le Graphique 5 révèle une trajectoire de l'employabilité mesurée sensiblement non-linéaire. La forte augmentation du nombre de diplômés de Master en géosciences en emploi entre 2008 et 2009 s'explique en partie par la réforme LMD des diplômes universitaires lancée en 2004-2005. Cette réforme consistait à harmoniser les diplômes dans la zone Europe en une structure à trois niveaux: Licence, Master, Doctorat. En France, cette nouvelle structure a progressivement remplacé les cinq niveaux de diplômes précédant (DEUG, Licence, Maîtrise, DEA/DESS, Doctorat). La Maîtrise correspond aujourd'hui à un niveau Master 1 et les anciens DEA/DESS à un niveau Master 2, c'est-à-dire à un diplôme de Master. La réforme LMD a essentiellement touché les étudiants inscrits en première année à partir de 2004-2005. Parmi les étudiants de la première cohorte, nous observons une augmentation importante du nombre de diplômés au niveau Master du fait de la disparition du diplôme de Maîtrise.

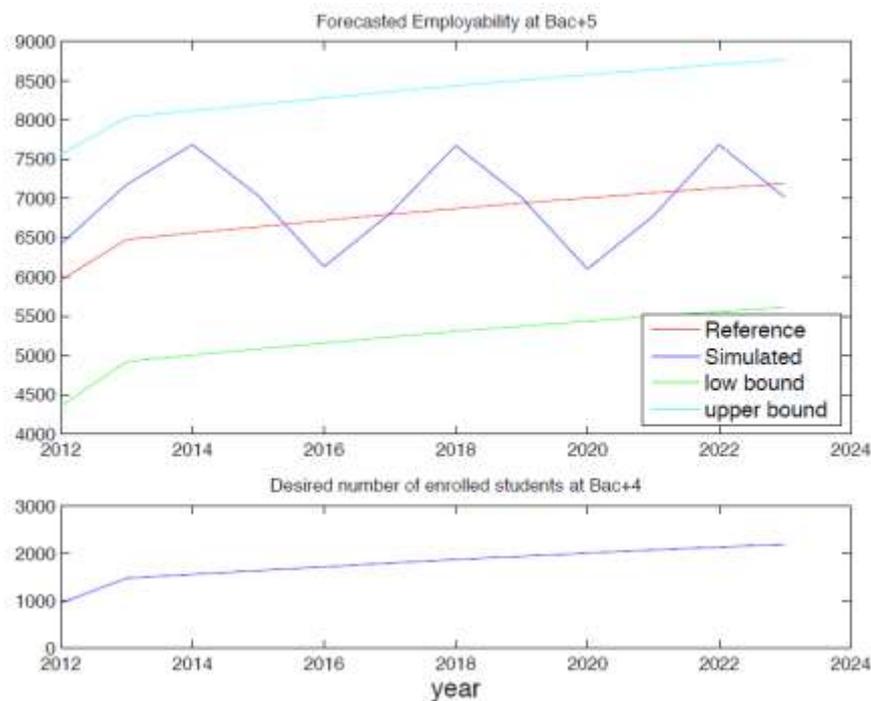
Nous simulons le modèle de prédiction interne en fixant les horizons de prédiction et de commande respectivement à 5 ans et 4 ans ($N_p = 5, N_c = 4$), $R=[10; 0.1]$ et $Q(j) = Q(1)^j$ avec $Q(1) = 2$, ce qui revient à pondérer de plus en plus fortement les erreurs de poursuite au fur et

²Toutes les simulations ont été réalisées sous le logiciel Matlab et le problème d'optimisation a été résolu à l'aide de la fonction Matlab *fmincon*.

à mesure que le temps passe afin de donner plus d'importance à l'objectif final. L'horizon de prédiction est fixé à cinq ans pour tenir compte du fait qu'une modification du nombre d'inscrits en première année de Licence n'aura d'impact sur le nombre de diplômés de Master qu'au bout de minimum 5 ans.



Graphique 5. Employabilité de référence et employabilité mesurée au niveau Master (bac+5)



Graphique 6. Employabilité prédite en géosciences pour les diplômés en Master 2012-2025

Le Graphique 6 présente le résultat de ces simulations et montre que l'output du processus poursuit la trajectoire de référence tout en restant à l'intérieur de l'intervalle de confiance. A chaque instant t , l'algorithme d'optimisation prend en compte l'écart entre l'employabilité prédite et l'employabilité de référence et le minimise en ajustant en $t + 1$ la valeur de la variable d'action (c'est-à-dire le nombre d'étudiants à inscrire afin de produire le nombre de diplômés demandés par le marché du travail). L'écart entre l'employabilité prédite converge ainsi vers l'employabilité de référence par un processus de tâtonnement. Aux vues de la convergence atteinte par notre modèle (Graphique 6), ces simulations prouvent la capacité de l'outil CIPEGE à simuler l'impact de certaines actions menées au niveau universitaire (ici, agir sur le nombre d'étudiants inscrits en première année) sur l'employabilité de leurs étudiants. Notre analyse du rôle du flux d'entrants dans les filières de géosciences sur l'employabilité montre que, comparativement aux inscriptions actuelles, les universités françaises devront plus que doubler le nombre d'inscrits en première année de licence d'ici 2020, pour apporter une réponse adéquate à la demande des marchés pour des compétences en géosciences de niveau Master. Ainsi, d'une part, cet outil anticipe la demande effective d'un certain type de compétence, par secteur d'activité et type de poste, ce qui constitue une information stratégique pour les universités et les étudiants. D'une autre part, le CIPEGE peut également révéler la capacité des universités à répondre à la demande effective des marchés en « produisant » une offre de compétences adéquate. Cette information est à son tour pertinente pour les secteurs fortement dépendants des ressources humaines dans leur processus de planification stratégique. L'outil CIPEGE a donc une pertinence à la fois pour les universités, les étudiants et le milieu industriel.

5. Conclusions

Cet article a présenté les résultats préliminaires d'un outil innovant de prospection de l'employabilité des diplômés en géosciences et environnement issus des universités françaises. Pour la première fois, l'approche par les modèles de commande prédictive a été appliquée à une problématique purement économique. Le choix de cette approche réside dans la capacité des modèles à commandes prédictives à tenir compte des perturbations et autres erreurs de modélisation inhérentes à toute estimation empirique par la structure de leur modèle de prédiction interne (MI). En complétant parfaitement la correction d'erreur d'estimation (*Error Correction Model*) appliquée dans notre modèle définissant la trajectoire d'employabilité de référence, cette correction d'erreur de modélisation par la structure MI a pour rôle d'assurer la fiabilité et robustesse de nos résultats. Comme le montrent nos résultats préliminaires, cet objectif semble atteint, puisque notre modèle de prédiction interne retrace le processus avec un taux d'erreur relative inférieur à 10%, ce qui est statistiquement très satisfaisant, puisqu'il révèle une capacité de l'outil CIPEGE à atteindre les objectifs d'employabilité (y_{ref}) à une probabilité de plus de 90%.

Un autre avantage de l'approche par la commande prédictive réside dans sa structure qui permet de définir les commandes d'action (c'est-à-dire les paramètres à tester) de manière exogène. Cette exogénéité a pour mérite de pouvoir tester un nombre illimité de commandes sans altérer le modèle interne ni le critère d'optimisation. Les prochaines étapes du projet CIPEGE incluent donc de tester de nouvelles commandes (autres que l'action sur le nombre d'étudiants inscrits en début de parcours) afin de faire de l'outil CIPEGE un véritable outil décisionnel au niveau politique et universitaire. L'identification de ces commandes se fera en étroite collaboration avec le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et les Présidences universitaires.

Enfin, les courbes de tendance de l'emploi par secteur d'activité et par niveau d'occupation que nous dérivons du modèle de l'employabilité de référence ont la vertu d'informer sur les tendances fortes du marché de l'économie verte et contribuent également à alimenter, à la fois le débat et les décisions stratégiques en matière d'investissements industriels et en ressources humaines. Les résultats seront ainsi régulièrement présentés aux grands industriels français, afin de récolter leurs impressions sur la pertinence des valeurs observées (passées et présentes) et confronter les valeurs futures, anticipées par notre modèle, à leurs propres anticipations de l'évolution des marchés de l'énergie et des matières premières et de l'émergence de nouveaux métiers dans leur secteur. Notre système de correction continu sur horizon glissant nous permettra ainsi d'intégrer ces informations au fil de l'eau afin d'ajuster notre estimation des tendances fortes et d'identifier les signaux faibles importants.

Il est néanmoins important de souligner que ce type d'outil, reposant sur un concept d'appariement, n'est pertinent que dans le cadre de formations dites « réglementées » ou pour lesquelles des objectifs métiers ont été clairement définis, telles que les géosciences, la médecine, le numérique numérisant ou la chimie. Notons en outre qu'en fonction de l'ampleur des bouleversements que le verdissement de l'économie pourra potentiellement apporter à la nomenclature des métiers dans les années à venir, nos résultats risqueront de perdre en justesse par manque de points d'observation. Nous travaillons pour cette raison sur une nouvelle version de l'outil CIPEGE qui portera sur une estimation par intervalles, afin de prendre en compte cette incertitude inhérente à un secteur en pleine émergence et à des comportements individuels parfois irrationnels.

Bibliographie

- Alessio A. et Bemporad A. (2009), Nonlinear Model Predictive Control, *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol 384.
- Arjona Perez E., Garrouste C. et Kozovska K. (2010), Towards a benchmark on the contribution of Education and Training to Employability : a discussion note, *JRC Scientific and Technical Reports EUR24147EN*, Joint Research Center, Ispra.
- Boateng S.K., Garrouste C. et Jouhette S. (2011), Measuring Transition from School to Work in the EU : Role of the data source", *Conference paper presented at the Conference Catch the Train: Skills, Education and Jobs*, Brussels, June 2011.
- Borras I., Legay A. et Romani C. (2008), « Les choix d'orientation à l'épreuve de l'emploi ». Notes Emploi Formation 30, Céreq, Marseille.
- Camacho E. et Bordons C. (2007), Nonlinear Model Predictive Control: An Introductory Review. *Assessment and Future Directions of Nonlinear Model Predictive Control, LNCIS358*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, pages 1–16.
- Cambridge Econometrics (2011), *Studies on Sustainability Issues: Green Jobs, Trade and Labour*, Cambridge Econometrics, Cambridge, UK.
- CEDEFOP (2008), *Terminology of European Education and Training Policy*, European Union Publications Office, Luxembourg.
- Cole H. et Rogerson R. (1996), Can the Mortensen-Pissarides Matching Model Match the Business Cycle Facts? *University of Minnesota Working Paper*.
- Courtial E. et Garrouste C. (2014), Model Predictive Control Strategy to Forecast Employability in Earth Sciences, *Conference paper presented at the 19th World Congress of The International Federation of Automatic Control*, Cape Town, South Africa. August, 2014.

- Cutuli G. et Guetto R.(2013), Fixed-Term Contracts, Economic Conjuncture, and Training Opportunities: A Comparative Analysis Across European Labour Markets, *European Sociological Review*, vol 29(3), pages 616–629.
- Davis S.J., Haltiwanger J. et Schuh S.(1996), *Job Creation and Destruction*, MIT Press, Cambridge, MA.
- DeGrip A., van Loo J. et Sanders J. (2004), The Industry Employability Index: Taking Account of Supply and Demand Characteristics, *International Labour Review*, 143(3), pages 211–233.
- Gazier A. (1998), *Employability: Concepts and Policies*, European Commission, European Employment Observatory Research Network, Bruxelles.
- Harvey H., Geall V. et Moon S. (1998), *Work Experience: Expanding Opportunities for Undergraduates*, Centre for Research into Quality, Birmingham.
- Hillage J. et Pollard E. (1998), Employability: Developing a Framework for Policy Analysis, *Department for Education and Employment (DfEE), Research Report no RR85*.
- INSEE (2012), *Dossier - Définir et quantifier l'économie verte*, L'économie française, édition 2012.
- McFadden D.(1974), Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, dans P. Zarembka (ed.), *Frontiers in Econometrics*. Academic Press, New York, pp.105-142.
- McQuaid R. et Lindsay C. (2005), The Concept of Employability, *Urban Studies*, vol 42(2), pages 197–219.
- Mortensen D.T. (1994), The Cyclical Behavior of Job and Worker Flows, *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol 18, pages 1121–1142.
- Mortensen D. et Pissarides C. (1994), Job creation and job destruction in the theory of unemployment, *Review of Economic Studies*, vol 61(3), pages 397–415.
- Oliver E.A. (2012), Living fly? How Europe's science researchers manage mobility, fixed term employment and life outside work, *The International Journal of Human Resource Management*, vol 23(18), pages 3856–3871.
- O'Connor J.S. (2013), Non-Standard Employment and European Union Employment Regulation, Dans: Max Koch et Martin Fritz (Eds.), *Non-Standard Employment in Europe Paradigms, Prevalence and Policy Responses*, Palgrave, Houndmills, Basingstoke, England, pp. 46-63.
- Organisation Internationale du Travail (2012), *Vers le développement durable: Travail décent et intégration sociale dans une économie verte*, OIT, Genève.
- Petrongolo B. et Pissarides C. (2001), Looking into the blackbox: a survey of the matching function, *Journal of Economic Literature*, vol 39 (2), pages 390–431.
- Pissarides C. et Mortensen D.(1999), New Developments in Models of Search in the Labour Market, *CEPR Discussion Paper, No. 2053 (January)*.
- Programme des Nations Unies pour l'Environnement (2011), *Vers une Economie Verte*, PNUE, France.
- Qin S.J. et Badgwell T.A. (2003), A survey of industrial model predictive control technology. *Control Engineering Practice*, vol 11, pages 733–764.
- Wilson R.A. et al. (2010), *Skills supply and demand in Europe: medium-term forecast up to 2020*, Cedefop, Thessaloniki.