

Nouveaux résultats sur l'impact
du Crédit d'Impôt Recherche

Benoît MULKAY

MRE, Université de Montpellier¹

Jacques MAIRESSE

*CREST (ENSAE),
UNU-MERIT (Maastricht University)²*

RESUMÉ

Cette étude présente une estimation structurelle des effets de la réforme du CIR de 2008. Tout d'abord, le coût de la recherche est calculé sur des données d'entreprise, en estimant la part des dépenses de R&D éligibles au CIR.

Dans un deuxième temps, on estime un modèle de demande de capital recherche et donc de dépenses de R&D qui dépend de la valeur ajoutée, du taux de marge et du coût de la recherche. L'élasticité du capital recherche à son coût est estimé à une valeur de -0,50 à long terme. Ainsi une baisse du coût de la recherche de 1 %, implique à long terme une hausse du capital recherche et de la R&D des entreprises de 0,5 %.

La réforme du CIR a réduit drastiquement le coût de la recherche de quasiment 40 % en moyenne pour les entreprises de notre échantillon, même si depuis 2010, les avantages du CIR ont été légèrement rognés. En conséquence, la R&D va augmenter de 25 % à l'équilibre de long terme. Dans l'intervalle, elle va s'accroître davantage entre 2010 et 2014 du fait de l'ajustement à ce nouvel équilibre. Ainsi le multiplicateur implicite du CIR peut être estimé à une valeur supérieur à l'unité au cours de la période 2010 – 2014, avant de se réduire et de converger vers une valeur de 0,9.

On montre aussi que sans la réforme, la R&D aurait chuté de 10 % en 2009 par rapport à 2007 à cause de la crise économique, alors que la réforme du CIR a permis une augmentation de la R&D de 16 % en 2009. D'après les simulations, on peut estimer que la R&D des entreprises pérennes est aujourd'hui d'environ 25 % supérieure à ce qu'elle serait s'il n'y avait pas eu de réforme du CIR.

¹ Adresse : MRE – Université de Montpellier, Faculté d'Economie, Avenue Raymond Dugrand, CS 79606, 34960 Montpellier Cedex 2. Mail : benoit.mulkey@umontpellier.fr

² Mail : jacques.mairesse@ensae.fr

SYNTHESE

Le rapport « *Nouveaux résultats sur l'impact du Crédit d'Impôt Recherche* » présente les résultats d'une nouvelle étude économétrique sur les effets du crédit d'impôt recherche (CIR) menée par les chercheurs Benoît MULKAY et Jacques MAIRESSE, à la demande du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI). Le comité de pilotage des études d'évaluation du CIR du ministère a suivi l'avancée de ces travaux initiés en 2015, la dernière séance du 4 septembre 2018 en actant la fin.

Cette étude économétrique analyse l'effet direct du crédit d'impôt recherche sur les investissements en recherche et développement (R&D) des entreprises en France, et propose une évaluation *ex-post* de la réforme de 2008.

Son cadre théorique et méthodologique relève de l'approche structurelle, dans laquelle l'économètre part d'un modèle économique formel dont il cherche à identifier et à estimer les paramètres à partir d'observations réelles. On suppose dans le modèle utilisé ici que l'entreprise maximise son profit avec des investissements de recherche (R&D) qui s'accumulent dans un capital de connaissance (capital de R&D). Le CIR est introduit en diminution du coût d'usage du capital de R&D. A partir de ces paramètres, le modèle dynamique de la R&D est estimé avec la méthode des moments généralisés. Les estimations des effets de long terme et de la dynamique d'ajustement sont ensuite utilisées pour évaluer *ex post* les effets de la réforme du CIR de 2008

Cette étude prolonge la précédente étude d'évaluation *ex-ante* de la réforme du CIR des auteurs³, qui reposait sur des données allant jusqu'à 2007. Le même modèle a été estimé à nouveau avec des données économiques des entreprises allant jusqu'en 2013, afin d'effectuer une évaluation *ex-post* de la réforme du CIR.

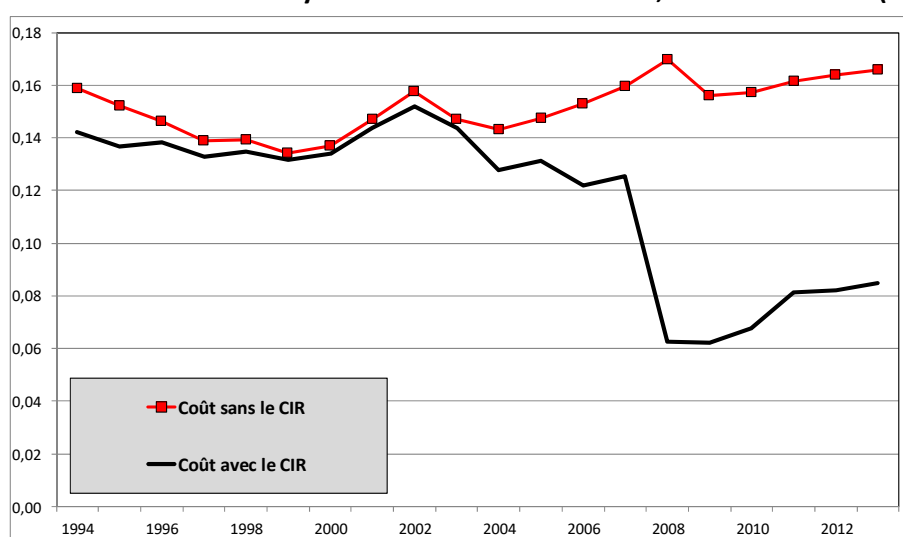
Les nouvelles estimations économétriques viennent confirmer les estimations antérieures.

³ Benoît MULKAY and Jacques MAIRESSE : « The R&D tax credit in France: assessment and ex ante evaluation of the 2008 reform », *Oxford Economic Papers*, 2013, Vol. 65(3), p. 746-766.

Sur le coût d'utilisation d'un euro de capital recherche

La réforme de 2008, en abandonnant le CIR incrémental pour un CIR totalement en volume avec un taux de 30 % pour les dépenses de R&D inférieures à 100 M€ et de 5 % pour celles excédant ce seuil, s'est traduite par une baisse très sensible du coût d'utilisation d'un euro de capital recherche par rapport au coût sans le CIR, lequel aurait été sinon d'au moins 0,16 €. Avec le CIR, celui-ci est en moyenne de 0,063 €, soit une baisse de 63 %. Bien qu'il se soit réduit entre 2009 et 2013 de l'ordre de 17 %, en raison de la baisse du taux forfaitaire des frais généraux de recherche, l'avantage du CIR reste élevé : en 2013 le CIR divise par deux le coût d'utilisation d'un euro de capital recherche (voir graphique 1).

Graphique 1 : Évolution de la moyenne du coût réel de la R&D, avec ou sans CIR (1994-2014)



Sur l'élasticité de la R&D à son coût

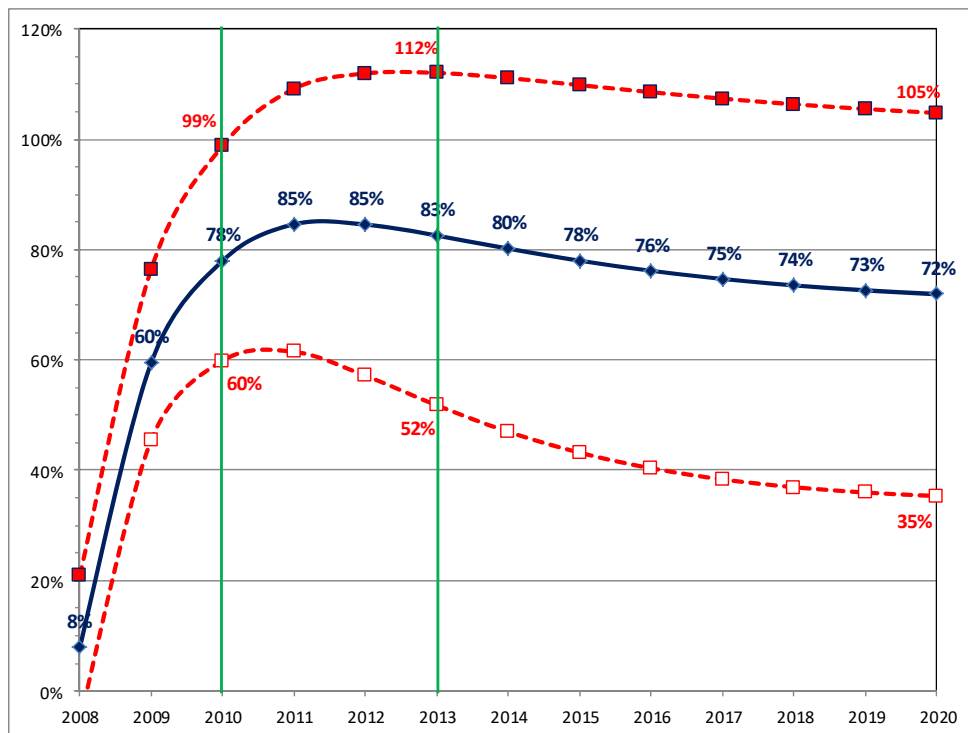
Les estimations faites sur la période 2008 à 2013 ont conduit à retenir une élasticité-coût à long terme du capital recherche de 0,50 (avec un écart-type de 0,15), laquelle implique qu'une diminution de 10 % du coût de la recherche se traduit par une augmentation du capital recherche et de l'investissement en R&D de 5 % à l'équilibre de long terme. Les estimations montrent aussi que la vitesse d'ajustement dynamique à ce nouvel équilibre est assez lente, celui-ci étant réalisé à 50% après 3 à 4 années, et à 90 % au bout de 9 années. Ces estimations *ex-post* sont proches des estimations *ex-ante* précédentes, qui avaient retenu une élasticité-coût à long terme du capital recherche de 0,40 (avec un écart-type de 0,19) et une vitesse d'ajustement dynamique également assez lente.

La lenteur du processus d'ajustement, conjuguée à la crise financière et à ses répercussions, explique pourquoi les effets de la réforme du CIR ne soient pas apparus rapidement dans les données statistiques de R&D.

Sur le multiplicateur implicite du CIR

Le ratio de la variation de R&D sur la variation du CIR donne une mesure du multiplicateur implicite du CIR, c'est-à-dire le montant de R&D additionnelle correspondant à une augmentation du coût budgétaire du CIR de 1 euro. Les estimations obtenues indiquent que ce multiplicateur serait à moyen terme de 0,83 € (avec un intervalle de confiance à 95 % allant de 0,50 € à 1,10 €), et à long terme de 0,73 € (avec un intervalle de confiance à 95 % allant de 0,35 € à 1,03 €). Compte tenu de l'importance des intervalles de confiance, il convient de considérer avec précaution ces estimations, notamment à des horizons éloignés.

Graphique 2 : Evolution simulée du multiplicateur implicite du CIR, valeurs moyennes et intervalle de confiance au cours du temps



Note de lecture : Le multiplicateur implicite est le rapport entre la R&D additionnelle du fait d'une modification du taux nominal du CIR, sur le montant du CIR supplémentaire.

On donne un intervalle de confiance à 95% en pointillés rouge. Cela signifie qu'il y a une probabilité de 95 % que la vraie valeur de ce multiplicateur soit comprise dans cet intervalle. Ainsi en 2010 cet intervalle va de 60% à 99% et en 2013 de 52% à 112%.

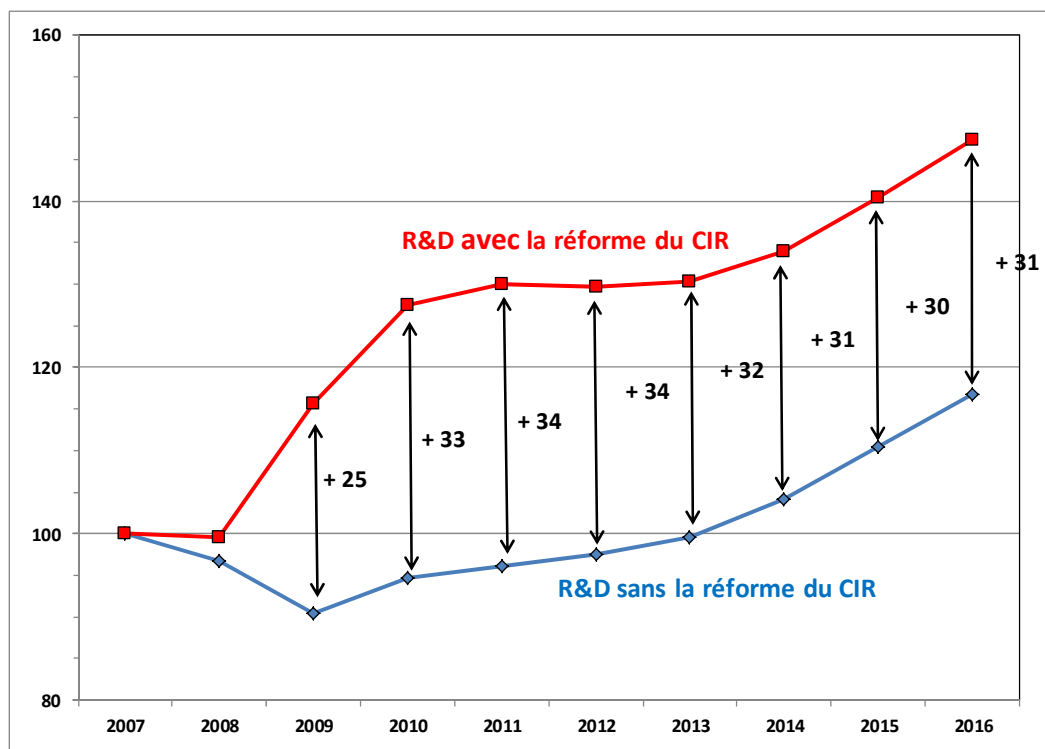
Le « multiplicateur implicite » ainsi calculé indique seulement si la réforme du CIR entraîne plus de R&D que son coût budgétaire direct et il ne concerne que les entreprises investissant dans la recherche pendant au moins cinq années. Cette évaluation est donc nécessairement partielle. Elle ne peut être comparée à une analyse d'ensemble sur la base d'un multiplicateur keynésien traditionnel parce qu'elle ignore les effets indirects liés au bouclage macroéconomique du modèle, et notamment aux modalités de financement budgétaire du CIR par l'Etat. De même, elle ignore les effets de la R&D des entreprises sur leurs innovations leur permettant de gagner des parts de marchés ou d'améliorer leur compétitivité. Elle ne prend pas en compte non plus les externalités positives, souvent très

importantes, que cette R&D peut engendrer, sur les fournisseurs et les clients des entreprises, ainsi que sur leurs concurrents.

Sur l'effet amortisseur du CIR pendant la crise de 2008

L'étude présente enfin une simulation montrant clairement l'effet de la réforme du CIR sur l'évolution des dépenses de R&D des entreprises pendant la crise de 2008. Elle compare les niveaux du capital recherche et d'investissement en R&D obtenus suite à cette réforme, à ceux qui auraient été atteints si cette réforme n'avait pas eu lieu, en prenant en compte l'évolution moyenne constatée de la demande (mesurée par la valeur ajoutée nominale) et de la rentabilité de l'entreprise (mesurée par le taux de marge).

Graphique 3 : Evolution observée de l'investissement en R&D et évolution simulée sans la réforme du CIR en 2008 *



Note de lecture : Estimation de la R&D des entreprises avec une activité de R&D avec la réforme du CIR et sans cette réforme en gardant les paramètres du CIR de 2007. Les autres déterminants de la R&D suivent leur évolution macroéconomique moyenne. Cette R&D a été normalisée à 100 en 2007, pour suivre son évolution en termes réels. En 2013, s'il n'y avait pas eu de réforme du CIR, la R&D aurait retrouvé son niveau de 2007 avant la crise. En revanche avec la réforme du CIR, celle-ci atteint un niveau de 134, soit 34% de plus que sans la réforme.

Cette estimation de l'effet de la réforme du CIR montre que celle-ci a eu un effet important à court-moyen terme. Si on considère la différence entre les dépenses de R&D observées avec la réforme et celles hypothétiques sans la réforme, l'écart des dépenses de recherche des entreprises dues à cette réforme atteint 35 % en 2010 et 2011 pour ensuite se réduire à environ 25 %. On peut

penser que sans la réforme du CIR, la R&D des entreprises pérennes serait aujourd'hui d'environ 20 % inférieure à ce que l'on constate.

Etudes complémentaires

Les estimations présentées sont faites pour les entreprises qui ont une activité de recherche pendant au moins cinq années consécutives, et elles permettent d'évaluer l'impact de la réforme à la « marge intensive » (c'est à dire pour les entreprises faisant déjà de la recherche), mais non à la « marge extensive » (c'est à dire pour les entreprises qui s'engagent dans la recherche). Il conviendrait dans un premier temps de poursuivre une étude des effets du CIR sur la décision des entreprises à s'engager dans les activités de R&D, et dans un deuxième temps de combiner cette étude avec celle déjà faite (dans le cadre d'un modèle économétrique à deux équations).

Par ailleurs des approfondissements de la distinction entre les branches et secteurs d'activités, mais aussi suivant les tailles d'entreprises peuvent être envisagés pour prendre en compte l'hétérogénéité des comportements des entreprises selon leurs activités et les conditions technologiques ou concurrentielles de leur marché.

SOMMAIRE

Introduction	5.
1. Modalités d'évaluation de l'impact du CIR sur le coût d'usage du capital	7.
1.1. <i>Le cadre méthodologique général</i>	
1.2. <i>La prise en compte de la R&D éligible au CIR</i>	
2. Statistiques descriptives	13.
2.1. <i>Le taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR</i>	
2.2. <i>La réduction du coût de la R&D avec le CIR</i>	
2.3. <i>L'impact du CIR sur le coût d'usage réel de la R&D</i>	
2.4. <i>Variabilité intra et inter des différentes variables</i>	
3. Les résultats des estimations	23.
3.1. <i>Le modèle empirique</i>	
3.2. <i>Méthode d'estimation</i>	
3.3. <i>Les résultats des estimations</i>	
4. Effets d'une hausse du taux nominal du CIR	34.
5. Simulations de la réforme du CIR de 2008	38.
5.1. <i>Simulation 1</i>	
5.2. <i>Simulation 2</i>	
Conclusion	45.
<i>Annexe 1 : Description des données</i>	47.
<i>Annexe 2 : Passage du modèle ADL au modèle ECM</i>	55.
<i>Annexe 3 : Estimations avec élasticité unitaire</i>	58.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Effet du CIR sur le coût d'usage du capital R&D depuis 1991

Tableau 2 : Évolution de variabilité double-intra : écarts-types et parts (1994-2014)

Tableau 3 : Résultats des estimations

Tableau 4 : Effets de long terme

Tableau 5 : Retards moyens (en années)

Tableau A1 : Répartition sectorielle et médianes de l'intensité de R&D (R&D par emploi mesurée en milliers d'euros)

Tableau A2 : Estimation en imposant une élasticité unitaire pour la production

LISTE DES GRAPHIQUES

- Graphique 1 : Évolution de la moyenne, de la médiane et de l'écart-type du taux d'éligibilité au CIR (1994-2014)
- Graphique 2 : Évolution de la distribution du taux d'éligibilité au CIR (1994-2014)
- Graphique 3 : Évolution de l'impact du CIR sur le coût d'usage de la R&D (1994-2014)
- Graphique 4 : Évolution des différentes composantes du « CIR éligible » sur le coût d'usage de la R&D (1994-2014)
- Graphique 5 : Évolution de la moyenne du coût réel de la R&D (1994-2013)
- Graphique 6 : Effet moyen du CIR après la réforme de 2008
- Graphique 7 : Évolution de la distribution du coût réel de la R&D (1994-2013)
- Graphique 8 : Évolution de l'écart-type, de l'écart-inter-quartile et de l'écart inter-décile du coût réel de la R&D (1994-2014)
- Graphique 9(a) : Effets d'une variation temporaire du coût de la recherche
- Graphique 9(b) : Effets d'une variation permanente du coût de la recherche
- Graphique 10 : Effets d'une augmentation du taux nominal du CIR de 20 points
- Graphique 11 : Variation de la R&D et du CIR suite à une augmentation du taux nominal du CIR de 20 points
- Graphique 12 : Multiplicateur implicite du CIR
- Graphique 13 : Variables exogènes de simulation
- Graphique 14(a) : Simulation 1 –Capital Recherche, R&D, et CIR (valeur ajoutée et taux de marge constants depuis 2008)
- Graphique 14(b) : Simulation 1 –Différence dans la R&D et le CIR, et multiplicateur implicite
- Graphique 15(a) : Simulation 2 – R&D et CIR (valeur ajoutée et taux de marge observés entre 2007 et 2015, constants depuis 2016)
- Graphique 15(b) : Simulation 2 – Différence dans la R&D et le CIR, et multiplicateur implicite
- Graphique 16 : Estimation de la R&D avec et sans la réforme du CIR
-
- Graphique A1 : Nombre d'observations retenues dans l'étude
- Graphique A2 : Nombre d'observations par entreprise (1994-2003)
- Graphique A3 : Représentativité de l'échantillon (DIRD et effectifs de R&D)
- Graphique A4 : Répartition sectorielle des entreprises
- Graphique A5 : Répartition par classe de taille des entreprises
- Graphique A6 : Médiane de l'intensité de R&D (R&D / CA)
- Graphique A7 : Répartition des entreprises par classe de taille

Introduction

Dans une précédente étude, nous avons analysé l'effet *ex-ante* de la réforme de 2008 du Crédit d'Impôt Recherche (CIR) qui reposait sur des données allant jusqu'à 2007, c'est-à-dire avant la mise en place de la réforme du CIR de 2008. Ces résultats, dits *ex ante*, ont été publiés dans un rapport pour le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (Novembre 2011)⁴. Ils ont aussi donné lieu à un article dans une revue scientifique (2013)⁵ avec une méthodologie amendée.

Dans cette analyse, nous avons estimé un modèle structurel de la R&D en fonction de la demande adressée aux entreprises et du coût de la R&D incluant la réduction du fait du crédit d'impôt recherche. On obtient alors une élasticité prix de la R&D, permettant d'évaluer l'effet de la réforme de 2008, qui se caractérise par une baisse drastique du coût de la R&D pour les entreprises, toutes choses égales par ailleurs. Nous avons aussi illustré les résultats par des simulations simples des trajectoires d'ajustement de l'investissement et du stock de capital de R&D des entreprises.

Dans cette nouvelle étude demandée par le ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI), nous reprenons le travail précédent en bénéficiant de données plus récentes disponibles sur la période 1994 – 2013, afin de vérifier *ex post* l'efficacité de la réforme du CIR de 2008, en tenant compte notamment de l'évolution de la production des entreprises suite à la crise de 2008-2009. Cette étude vise ainsi à actualiser nos résultats précédents mais aussi à enrichir notre analyse. L'estimation du coût de la recherche a été modifiée pour tenir compte des dispositions fiscales du CIR et notamment du calcul de la part de la R&D éligible au CIR. Cette modification doit permettre d'améliorer l'identification de l'effet du CIR par l'estimation d'un taux effectif du CIR pour chaque entreprise. De même, nous avons introduit une mesure de la liquidité de l'entreprise pouvant faciliter le financement de la R&D.

Cette étude est réalisée à partir des données de l'enquête R&D d'une part, et des données comptables des entreprises (fichiers FICUS et FARE) d'autre part, sans avoir recours aux données de la base de gestion du CIR (GECIR). En effet, nous privilégions les données de l'enquête R&D plutôt que les données de GECIR parce que ces dernières portent sur une définition fiscale de la R&D qui n'est pas celle qui est généralement utilisée dans les études sur la R&D des entreprises basées sur la définition de l'OCDE. D'autre part, les données de GECIR sont récoltées parmi les entreprises qui ont recours au CIR, ce qui peut entraîner *a priori* des biais d'estimation. Les données dont nous disposons via le Centre d'Accès Sécurisé à Distance (CASD) du GENES portent sur la période 1994 – 2013. Elles concernent 7 400 entreprises (35 000 observations), représentant un échantillon beaucoup plus important que dans les études de 2011 et 2013.

⁴ Benoît MULKAY et Jacques MAIRESSE : « Evaluation de l'Impact du Crédit d'Impôt Recherche », Novembre 2011, Rapport pour le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.

⁵ Benoît MULKAY and Jacques MAIRESSE : « The R&D tax credit in France: assessment and ex ante evaluation of the 2008 reform », *Oxford Economic Papers*, 2013, Vol. 65(3), p. 746-766.

Les nouvelles estimations économétriques montrent que nos estimations antérieures sont assez robustes. Le paramètre-clé d'élasticité de la R&D à son coût est dans un intervalle de 0,40 à 0,50, ce qui est légèrement plus élevé que précédemment.

Comme précédemment nos estimations sont réalisées pour les entreprises qui ont une activité de recherche pendant au moins 5 années consécutives. Elles permettent ainsi d'évaluer l'impact de la réforme sur le niveau des dépenses de R&D des entreprises (marge intensive), mais non sur la proportion d'entreprises ayant des activités de R&D (marge extensive).

Dans cette note, nous précisons dans une première partie le cadre théorique et méthodologique qui fonde notre analyse économétrique structurelle. Nous modélisons le comportement dynamique d'investissement en capital de recherche (R&D) d'entreprises qui maximisent leur profit compte tenu du coût d'usage de la R&D, de la demande et de marge de financement interne. Le coût d'usage du capital de R&D, qui dépend du taux effectif du CIR, il est estimé pour chaque entreprise en appliquant le mieux possible les règles fiscales du CIR aux dépenses de R&D déclarées par les entreprises dans l'enquête annuelle sur les moyens consacrés à la R&D dans les entreprises. Dans une deuxième partie, nous examinons en détail les statistiques descriptives du coût d'usage de la R&D et documentons notamment sa variabilité, source principale d'identification de l'impact du CIR sur les investissements des entreprises en R&D. Dans une troisième partie, nous présentons les résultats des estimations de notre modèle dynamique de la R&D obtenus par la méthode des moments généralisés (déjà retenue dans l'article de 2013). Dans les deux dernières parties, nous présentons plusieurs simulations permettant de bien comprendre les effets de la réforme du CIR de 2008, et illustrant les effets qu'elle a eu pour contrebalancer les conséquences de la crise 2008 sur l'évolution des dépenses de R&D des entreprises.

1. Modalités d'évaluation de l'impact du CIR sur le coût d'usage du capital

1.1. Le cadre méthodologique général

L'étude de l'impact du CIR repose ici sur une analyse structurelle du comportement des entreprises. On dérive un modèle de demande de R&D sur la base d'hypothèses classiques sur les entreprises. Dans notre analyse, on utilise la notion de coût d'usage du capital de recherche. On considère tout d'abord que la R&D s'accumule au niveau de l'entreprise pour former un stock de connaissances sur l'état des sciences et des techniques nécessaires à l'entreprise. Elle peut ainsi utiliser ce stock de connaissances technologiques pour réaliser sa production et pour innover en proposant de nouveaux produits ou en utilisant des procédés moins coûteux.

La théorie économique permet de calculer un coût d'utilisation d'une unité de connaissance ou de recherche-développement au cours d'une année. Cela équivaut au coût fictif de location de cette unité de connaissance pendant l'année, ou à la différence entre son coût d'acquisition en début d'année et de revente en fin d'année pour l'entreprise.

Ce coût est appelé le coût d'usage du capital, suite aux travaux de Jorgenson et Hall⁶ dans les années soixante. Ce coût d'usage dépend du prix de la R&D, du coût d'opportunité des fonds immobilisés (le taux de rendement net de l'entreprise) net des plus-values potentielles sur cette unité de R&D et du taux de dépréciation de la R&D. Il dépend aussi de la manière dont l'entreprise finance sa R&D, des paramètres fiscaux tels que le taux de l'impôt des sociétés et la déductibilité fiscale des dépenses de R&D, des subventions à la R&D reçues par l'entreprise, et finalement du crédit d'impôt recherche (CIR).

On peut définir le coût d'usage du capital C de la manière suivante, en notant :

- ρ : le taux de rendement net de l'entreprise,
- r : le taux d'intérêt sur ses emprunts,
- δ : le taux de dépréciation du capital de R&D,
- π : le taux d'inflation sur le prix des dépenses de R&D,
- τ : le taux nominal de l'impôt des sociétés,
- s : le taux de financement de la R&D par endettement,
- η : le taux de subvention à la R&D,
- γ : le paramètre de réduction du coût de la R&D du fait du CIR,
- P^{RD} : l'indice de prix de la R&D,

⁶ Voir par exemple les articles de Dale W. JORGENSON : « Capital Theory and Investment Behavior », *American Economic Review*, 53, 1963, pp. 247-259; de Robert E. HALL et and Dale W. JORGENSON : « Tax Policy and Investment Behavior », *American Economic Review*, 59, Juin 1967, pp. 388-401 ; Alan J. AUERBACH : « Taxation, Corporate Financial Policy and the Cost of Capital », *Journal of Economic Literature*, 21, 1983, pp. 905-940 ; ou encore de Colin MAYER : « Corporation Tax, Finance and the Cost of Capital », *Review of Economic Studies*, 1986, pp. 93-112.

$$C = P^{RD} \frac{1}{1-\tau} \left\{ \begin{array}{l} \underbrace{(1-\tau-\gamma)}_{\text{Coût de Base}} + \underbrace{[s((1-\tau)r-\rho)]}_{\text{Marchés des capitaux imparfaits}} - \underbrace{[\tau(1-\eta)(1-\tau-\gamma)]}_{\text{Déductibilité totale de la RD}} \\ - \underbrace{[\eta(1-\tau-\gamma)]}_{\text{Effets des subventions}} - \underbrace{[\gamma(1-\eta)(1-\tau-\gamma)]}_{\text{Effet du CIR}} \end{array} \right\}$$

qui peut se réécrire sous la forme :

$$C = P^{RD} \left\{ \left(1 - \frac{\gamma}{1-\tau}\right) (1-\eta)(\rho + \delta - \pi) + \left[s \left(r - \frac{\rho}{1-\tau}\right)\right] \right\} \quad (1)$$

On fait ainsi apparaître les différents éléments constituant le coût d'usage du capital, avec leur influence respective. L'effet des marchés des capitaux imparfaits (le terme entre crochets) peut avoir une influence positive ou négative sur le coût d'usage du capital car il dépend de l'écart entre le coût de financement par la dette (avec la déductibilité fiscale des charges financières) et le coût des fonds internes de l'entreprise : le taux de rendement net ρ . L'impôt des sociétés augmente le coût du capital R&D pour l'entreprise du fait qu'une partie des bénéfices de la R&D est prélevée par l'État. En revanche, du fait de la déductibilité des dépenses de R&D de la base taxable à l'impôt des sociétés, le coût du capital se réduit pour l'entreprise. Cette réduction de coût peut aussi provenir des subventions publiques directes à la R&D que reçoit l'entreprise.

Finalement le Crédit d'Impôt Recherche réduit le coût d'usage du capital R&D pour l'entreprise avec un taux γ sur le coût de la R&D hors subventions. Comme indiqué dans le tableau 1, ce paramètre γ dépend du mode de calcul du CIR, incrémental ou en volume, et des taux nominaux du CIR qui ont évolué dans le temps : θ^M , le taux nominal du crédit d'impôt incrémental (ou marginal) et θ^V , le taux nominal du crédit d'impôt en volume (introduit en France en 2004).

Avant 1990, le crédit d'impôt recherche était de forme incrémentale et basé sur l'écart avec la R&D (réévaluée) de la période précédente, alors qu'entre 1991 et 2007, le CIR incrémental était basé sur la différence entre la R&D courante et la moyenne de la R&D (réévaluée) des 2 années précédentes. C'est ce qui donne un effet du CIR environ 50 % supérieur pour cette seconde période. On peut remarquer que l'effet du CIR incrémental ne joue que si le taux de rendement net réel est positif ($\rho - \pi > 0$). S'il n'y a pas d'actualisation réelle, le CIR incrémental est inefficace pour réduire le coût du capital de R&D de l'entreprise. De même, si ce taux de rendement net réel augmente, le CIR devient plus efficace : il réduit davantage le coût du capital de R&D.

À partir de 2004, on a introduit un CIR en volume : d'abord au taux $\theta^V = 5\%$ en 2004 et 2005, puis au taux $\theta^V = 10\%$ en 2006 et 2007. Ce taux s'applique directement sur les dépenses de R&D éligibles au CIR de l'entreprise. Depuis 2008, il n'y a plus de CIR incrémental, mais un système uniquement en volume avec deux taux : $\theta_1^V = 30\%$ pour une première tranche de R&D inférieur au seuil $RD^* = 100$ M€, et un second taux $\theta_2^V = 5\%$ pour la R&D au-dessus de ce seuil. De plus, à partir

de 2008, il n'y a plus de plafonnement de l'avantage du CIR qui existait auparavant avec des montants qui ont évolué de 6.1 M€ en 1991 à 16 M€ en 2007.

Tableau 1 : Effet du CIR sur le coût d'usage du capital R&D depuis 1991

	Effet du CIR sur le Coût de la R&D (γ)	Taux nominaux du CIR	Plafond	Réduction du Coût ($\rho = 8\%$) ($\pi = 3\%$)
De 1991 à 2003	$\gamma = \theta^M \times \frac{\rho - \pi}{1 + \rho} \times 1.50$	$\theta^M = 50\%$	6.1 M€	3.47 %
2004 - 2005	$\gamma = \theta^V + \left(\theta^M \times \frac{\rho - \pi}{1 + \rho} \times 1.50 \right)$	$\begin{cases} \theta^M = 45\% \\ \theta^V = 5\% \end{cases}$	8 M€	8.13 %
2006		$\begin{cases} \theta^M = 40\% \\ \theta^V = 10\% \end{cases}$	10 M€	12.78 %
2007			16 M€	
À partir de 2008	$\gamma = \begin{cases} \theta_1^V & \text{si } RD \leq \overline{RD} \\ \theta_2^V + (\theta_1^V - \theta_2^V) \overline{RD} / RD & \text{si } RD > \overline{RD} \end{cases}$	$\begin{cases} \theta_1^V = 30\% \\ \theta_2^V = 5\% \end{cases}$ $\overline{RD} = 100 \text{ M€}$	AUCUN	30.0 % 20.6 %* 10.0 %**

Dans tous les cas, les entreprises ont reçu davantage de CIR après la réforme qu'avant cette réforme. Si on prend une entreprise avec une R&D stable en dessous de 100 M€, son CIR (uniquement en volume dans ce cas) aurait triplé en passant de 10% à 30% de sa R&D. Pour une entreprise faisant 160 M€ de R&D en 2007, elle recevait un CIR égal au plafond, soit 16 M€. Avec la réforme, son CIR aurait quasiment doublé passant à 33 M€, soit une réduction de coût de 20.6%. Enfin si on prend le cas d'une entreprise avec une R&D très importante, supérieure à 160 M€, par exemple de 300 M€ ; son CIR serait après la réforme de 45 M€ (15 % de sa R&D), contre 16 M€ (du fait du plafond) au préalable (5.3 % de sa R&D). On peut constater que ces entreprises qui étaient affectées au préalable par le plafond, ont vu leur CIR augmenter davantage en pourcentage que les entreprises qui avaient une R&D entre 100 et 160 M€. Néanmoins seule les rares entreprises avec plus de 500 M€ de R&D ont maintenant un taux de CIR inférieur à 10 %, mais celles-ci étaient touchées par le plafonnement du CIR avant la réforme.

Les règles fiscales régissant le CIR sont votées chaque année dans la loi de finances. Depuis 2008, ces règles n'ont été que marginalement modifiées. Ces évolutions peuvent cependant avoir un impact important sur le coût d'usage de la R&D de certaines entreprises. On peut citer par exemple, la prime en termes de taux nominal du CIR pour les entreprises débutant une activité de R&D. En effet, avant la réforme de 2008, ces entreprises bénéficiaient de facto, d'un taux nominal de 50 % la première année et de 10 % à 50 % la deuxième année selon l'évolution de la R&D de l'entreprise⁷. En 2008, pour éviter de pénaliser les entreprises qui commençaient une activité de R&D par rapport à la première période, le législateur a fixé un taux nominal du CIR à 50 % pour la première année et 40 % la seconde année⁸. Ces taux nominaux majorés du CIR ont été réduits à respectivement 40 % la première année, et 35 % la deuxième année à partir de 2011, et totalement supprimés à partir de 2013.

1.2. La prise en compte de la R&D éligible au CIR

Les dépenses de R&D déclarées par les entreprises dans l'enquête sur les moyens consacrés à la R&D dans les entreprises ne se recoupent qu'imparfaitement avec les dépenses de R&D éligibles au CIR. En effet, la définition de la R&D dans l'enquête correspond exactement au concept du manuel de Frascati de l'OCDE⁹, alors que les dépenses éligibles au CIR ont une définition qui leur est propre.

Les principales différences concernent :

- **les dépenses de fonctionnement**, qui sont déclarées par les entreprises dans l'enquête R&D, alors qu'elles sont forfaitisées comme un pourcentage de la masse salariale des personnels de R&D ;
- **les dépenses d'investissement**, dont seuls les amortissements sont éligibles au CIR, et non les immobilisations comme dans l'enquête R&D ;
- **les dépenses externalisées**, qui sont comptabilisées intégralement à leur valeur dans l'enquête R&D alors que pour le CIR, seules les dépenses externalisées auprès

⁷ En fait le taux nominal du CIR en deuxième période dépend du niveau de la R&D de cette période par rapport à la première période : il est de 0 % si l'entreprise arrête de faire de la R&D en seconde période, de 10 % si sa R&D est inférieure à la moitié de la R&D de première période, de 30 % si elle a le même montant de R&D en seconde période qu'en première période, et de 40 % si elle double sa R&D en seconde période par rapport à la première. Ce taux converge vers 50 % si l'augmentation de R&D en seconde période tend vers l'infini.

⁸ Ce qui correspond à une augmentation linéaire de la R&D au cours des deux premières périodes dans l'ancien système.

⁹ Selon le Manuel de Frascati de l'OCDE (2002) : « la recherche et le développement expérimental (R&D) englobent les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la somme des connaissances, y compris la connaissance de l'homme, de la culture et de la société, ainsi que l'utilisation de cette somme de connaissances pour de nouvelles applications » (page 34). Cette définition de la R&D est assez large parce qu'elle s'étend de la recherche fondamentale ou appliquée jusqu'au développement expérimental. Cependant elle ne concerne pas l'enseignement et la formation, la recherche documentaire, les travaux d'innovation, ou l'administration et le soutien indirect à la R&D.

d'organismes agréés sont retenues, elles sont plafonnées par des règles complexes (triple plafond) et les externalisations vers certains organismes publics ou assimilés comptent pour le double de leur montant.

Par ailleurs, les dépenses éligibles au CIR intègrent une majoration de certaines dépenses de R&D (par exemple les dépenses de personnel des jeunes docteurs et leur forfait de frais de fonctionnement,) et intègrent les dépenses de prise ou de défense de brevets, de normalisation, ou de veille scientifique non retenues dans les enquêtes sur la R&D.

Il est difficile de réconcilier les deux sources pour identifier les dépenses de R&D des entreprises éligibles au CIR. Partant des données déclarées à l'enquête R&D, plusieurs retraitements ont été effectués pour estimer les dépenses éligibles au CIR :

- on retient les dépenses de personnel de R&D et les amortissements déclarés dans l'enquête ;
- on calcule les frais de fonctionnement en appliquant le forfait du CIR (% de la masse salariale des personnels de R&D) ;
- on néglige les autres éléments des dépenses de R&D de l'entreprise (brevets, normalisation, veille technologique) ;
- on ajoute la R&D externalisée avec les plafonnements du CIR en doublant le montant de la R&D externalisée dans le secteur public (on suppose de ce fait que toute la R&D externalisée est effectuée par des organismes agréés, et que tous les organismes publics sous-traitants n'ont aucun lien de dépendance avec les entreprises).

On obtient ainsi une R&D éligible au CIR que l'on peut comparer à la R&D déclarée à l'enquête du MESRI. Le taux de R&D éligible au CIR par rapport à la R&D déclarée à l'enquête est ainsi défini :

$$\varphi = \frac{RD^{CIR}}{RD} \quad (2)$$

où RD^{CIR} est la R&D éligible au CIR, calculée comme indiqué ci-dessus, et RD est la R&D totale reportée dans l'enquête R&D.

On suppose ici que toutes les entreprises qui effectuent de la R&D ont recours au CIR. En effet comme la réduction de coût de la R&D prend effet dès le premier euro de R&D, on voit mal pourquoi une entreprise ne demanderait pas cette réduction d'impôt. Cependant, des études et rapports officiels ont montré que certaines entreprises ne demandent pas le CIR parce qu'elles ont peur d'un éventuel contrôle fiscal, ou qu'elle estime que les coûts administratifs d'une déclaration de CIR excède le gain qu'elle pourrait obtenir. On fait également l'hypothèse que toutes les activités de R&D des entreprises sont déclarées au CIR, c'est-à-dire les frais de personnels, l'amortissement des immobilisations servant à la R&D, et la R&D *extra muros*, parce que les entreprises ont intérêt, chaque année, à déclarer une R&D la plus importante possible. Mais certaines dépenses de R&D externalisée ne sont pas mentionnées dans les déclarations au CIR du fait que celles-ci dépassent le plafond des dépenses pouvant impliquer un crédit d'impôt.

Le taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR φ peut être supérieur à 100 % si le forfait de frais de fonctionnement (% de la masse salariale du personnel de R&D) est supérieur aux frais

réellement supportés par l'entreprise. À l'inverse, ce taux est réduit lorsque l'entreprise a des frais de fonctionnement élevés ou si ses dépenses externes de R&D sont plafonnées.

Au cours de la période, la différence la plus notable a été une réduction du forfait pour les dépenses de fonctionnement qui sont passées de 75 % de la masse salariale jusqu'en 2010, à 50 % de la masse salariale à partir de 2011. On verra plus loin que ce changement a renchéri le coût de la R&D pour les entreprises à partir de 2011, et a minoré l'avantage de la réforme de 2008.

La prise en compte de ce taux de la R&D éligible au CIR réintroduit de la variabilité individuelle dans le calcul de l'effet du CIR. En effet, à l'exception des quelques entreprises qui déclarent plus de 100 M€ de R&D au CIR et qui ne bénéficient que du taux nominal réduit de CIR (5 %) au-delà de ce seuil, le taux nominal du CIR s'établit à 30 % pour toutes les entreprises ; ce qui empêche de pouvoir identifier l'effet du CIR sur les entreprises en raison de l'absence de variabilité du taux entre les entreprises de l'échantillon¹⁰.

La formule du coût d'usage du capital (1) inclut les subventions publiques à la R&D. Dans l'analyse empirique, il est cependant très difficile d'intégrer ces subventions, qui répondent à une logique différente de celle du CIR. D'une part, elles ne sont distribuées qu'à un nombre limité d'entreprises, dont certaines d'ailleurs financent entièrement leur R&D sur des fonds publics, et n'ont pas recours au CIR. Nous avons de ce fait décidé d'exclure ces subventions du coût d'usage de la R&D. En conséquence, le coût d'usage de la R&D devient (en négligeant le traitement fiscal asymétrique des dividendes et des intérêts de la dette, ainsi que les différences entre le taux de rendement et les taux d'intérêt) :

$$C = P^{RD} \left(1 - \frac{\gamma}{1-\tau}\right) (\rho + \delta - \pi) \quad (3)$$

On voit alors que l'effet du CIR sur le coût de la R&D est : $\frac{C_{CIR} - C_{AVANT}}{C_{AVANT}} = -\frac{\gamma}{1-\tau}$.

Du fait de l'impôt des sociétés, **l'effet (en valeur absolue) du CIR sur le coût d'usage de la R&D est plus important que le taux nominal du CIR**. La réduction du coût de la R&D est en effet égale à l'effet nominal divisé par la part des revenus de l'entreprise qui reste à ses propriétaires ou ses actionnaires. En supposant un taux nominal du CIR de 30 % ($\gamma = 0.30$) et un taux d'impôt sur les sociétés de 33,3 % ($\tau = 1/3$), le coût de la R&D diminue de 45 %.

L'importance de l'effet du CIR (en valeur absolue) dépend positivement du taux d'impôt sur les sociétés. Une baisse du taux d'impôt sur les sociétés aura pour conséquence de réduire l'effet du CIR sur le coût d'usage de la R&D. Ainsi une baisse du taux d'impôt des sociétés de 33,3 % à 25 % par exemple, impliquerait que l'effet du CIR sur le coût de la R&D se réduirait de 45 % à 40 % de diminution de ce coût. Cette diminution du taux de l'impôt des sociétés renchérirait le coût de la R&D d'environ 9 points de pourcentage.

¹⁰ Il resterait une faible possibilité d'identification avec les entreprises au-dessus du seuil des 100 M€, ou avec les entreprises qui commenceraient à faire de la R&D avec les taux majorés. Mais cela se limiterait aux années 2008 à 2010 seulement.

2. Statistiques descriptives

Les données sur la R&D utilisées dans cette étude proviennent des enquêtes annuelles sur les moyens consacrés à la recherche et au développement dans les entreprises menées par le MESRI. Cette étude porte sur les années 1994 à 2013¹¹, ce qui permet de couvrir la période précédant la réforme de 2008, ainsi qu'une période de 6 années postérieures à cette réforme.

Les données de l'enquête R&D ont été appariées avec les comptes et bilans des entreprises disponibles dans les fichiers FICUS¹² (de 1994 jusqu'en 2007) et FARE¹³ (depuis 2008¹⁴ jusqu'à 2013). Ces données sont hébergées par le Centre d'Accès Sécurisé aux Données de l'INSEE. L'appariement brut des données sur la période 1994 – 2013 permet de conserver 92 622 observations pour 22 484 entreprises différentes. Néanmoins, pour l'analyse statistique et économétrique, nous avons besoin d'une certaine continuité dans les réponses aux enquêtes R&D et aux données comptables. Dans notre étude, nous allons seulement retenir les observations des entreprises pour lesquelles on dispose de 5 années consécutives d'observations, ce qui réduit l'échantillon disponible à 6 270 entreprises pour 56 040 observations, soit une moyenne de 8,9 années ininterrompues de données pour chaque entreprise. Une analyse détaillée de l'échantillon est présentée dans l'annexe 1.

Les 6 270 entreprises de l'échantillon représentent en moyenne 67 % de la dépense intérieure de recherche-développement (DIRD) et 65 % des effectifs de recherche de ces entreprises. Cependant cette représentativité décroît au cours du temps du fait des règles de constitution de l'échantillon qui nécessite pour chaque entreprise au moins 5 années consécutives de R&D. En conséquence, une entreprise doit avoir commencé une activité de recherche en 2009 au plus tard. Néanmoins pour chaque année, l'échantillon représente plus de 60 % de la DIRD et 50 % des effectifs de R&D des entreprises françaises.

L'échantillon comprend 63 % des entreprises (et 66 % des observations) appartenant aux secteurs de l'industrie manufacturières. Les autres entreprises appartenant aux secteurs des services, du commerce, des transports, et de la finance. Les PME représentent la majorité des entreprises de l'échantillon avec 57 % des entreprises de l'industrie manufacturière et 48 % des entreprises des services. Mais dans ces secteurs des services, on compte aussi 38 % d'entreprises de moins de 20 salariés, alors qu'elles ne représentent que 11 % des entreprises de l'industrie manufacturière. En revanche, il y a 29 % d'entreprises de taille intermédiaire dans l'industrie manufacturière, contre 13 % des entreprises dans les services. Finalement les entreprises de grande taille sont peu nombreuses : 3 % dans l'industrie manufacturière et 2 % dans les services.

La médiane de l'intensité de R&D, mesurée comme la part de la R&D dans le chiffre d'affaires de l'entreprise, s'établit à 5.1 %, mais cette médiane est beaucoup plus importante pour les services

¹¹ Dernière année disponible au moment de constituer la base de données.

¹² FICUS : Fichier de comptabilité unifié dans SUSE (Système Unifié de Statistiques d'Entreprises)

¹³ FARE : Fichier approché des résultats d'ESANE (Elaboration des Statistiques Annuelles d'Entreprise).

¹⁴ Il est à noter que l'année 2008 est assez mal renseignée dans les fichiers FARE : il y a beaucoup d'entreprises manquantes pour cette année, ainsi que de variables qui n'ont pas été calculées pour cette année.

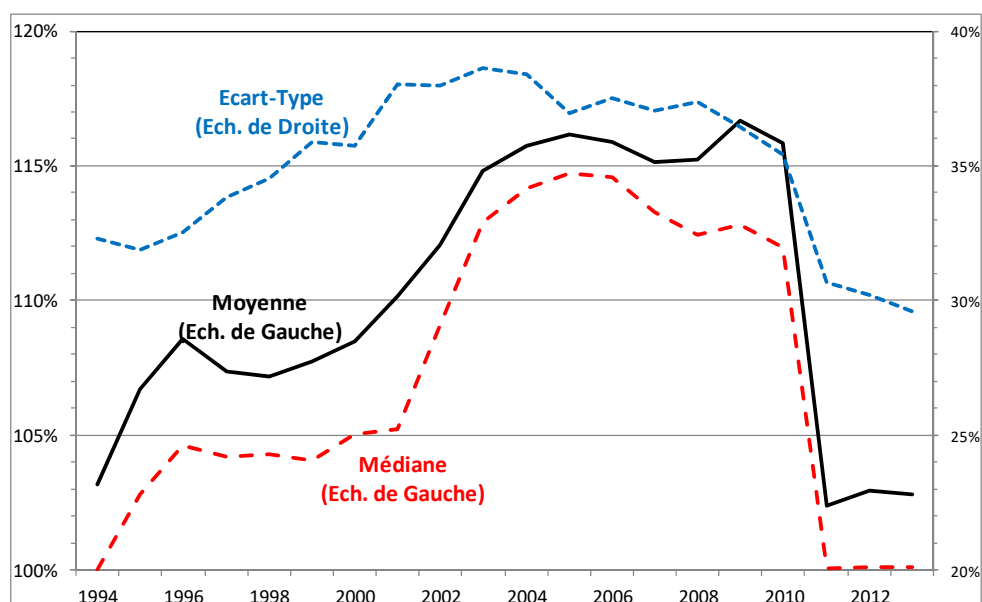
(17.3 %) que pour l'industrie manufacturière (3.2 %). Les entreprises des services sont des entreprises (plutôt de taille réduite) qui sont spécialisées dans les activités techniques et scientifiques ou encore dans l'informatique et la communication. La médiane de la dépense de R&D par salariés est de 9 200 €. Mais ici encore, les services ont une dépense de R&D totale par salariés 4 fois supérieure à celle des entreprises de l'industrie manufacturières (22 200€ contre 5 700 €).

2.1 Le taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR

Pour le calcul du coût d'usage du capital de recherche, on a défini la part de la R&D de l'entreprise qui était éligible au CIR (voir le paramètre φ ci-dessus) que l'on appelle ici le taux d'éligibilité des dépenses de R&D. Le graphique 1 indique la moyenne, la médiane et l'écart-type annuels de ce taux d'éligibilité. Les taux d'éligibilité moyen et médian sont toujours supérieurs à 100 %, ce qui indique que, pour plus de la moitié des entreprises, les dépenses de R&D éligibles au CIR sont supérieures en moyenne aux dépenses de R&D déclarées dans l'enquête R&D.

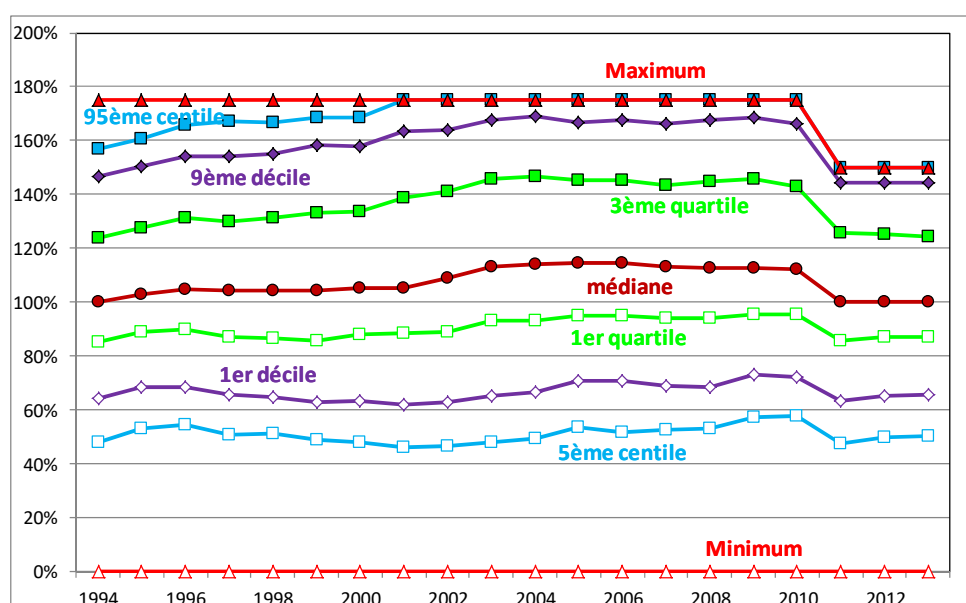
Le taux d'éligibilité médian (toujours inférieur de quelques points au taux moyen) passe de 100 % en 1994 à presque 115 % en 2005, pour ensuite diminuer légèrement jusqu'en 2010, puis chuter brutalement en 2011, revenant ainsi à son niveau de 1994 (100 %). Cette dernière évolution reflète la diminution du forfait de frais généraux qui est passé de 75 % de la masse salariale des personnels de recherche, à 50 % depuis 2011. Le législateur a ainsi souhaité que, pour l'entreprise médiane, les dépenses de R&D éligibles au CIR ne dépassent pas les dépenses effectivement engagées. La dispersion de ce taux d'éligibilité suit le même profil d'évolution avec une hausse de la dispersion entre 1994 et 2003, une légère réduction de la variabilité jusqu'en 2010, et enfin une réduction très forte de l'écart-type reflétant la forte chute de la moyenne après 2011.

Graphique 1 : Évolution de la moyenne, de la médiane et de l'écart-type du taux d'éligibilité au CIR (1994-2014)



Comme l'indique le graphique 2, la distribution du taux d'éligibilité est assez stable avec une assez forte variabilité individuelle, l'écart inter-décile étant compris entre 78 % et 102 % sur la période étudiée. Trois quarts des entreprises peuvent bénéficier du CIR sur plus de 85 à 95 % de leur R&D déclarée à l'enquête. La distribution du taux d'éligibilité se déforme de manière semblable autour de la médiane. On note cependant un écrasement de la distribution vers le haut de celle-ci depuis le début de la période. L'écart entre le 3^{ème} quartile et le maximum se réduit très fortement de plus de 50 % en 1994 à 25 % en 2013, alors que le bas de la distribution est assez stable : si on considère l'écart entre le 1^{er} quartile et le 5^{ème} centile, il fluctue entre 25 % et 35 % selon les années.

Graphique 2 : Évolution de la distribution du taux d'éligibilité au CIR (1994-2014)



2.2 La réduction du coût de la R&D avec le CIR

Le taux de réduction du coût de la R&D du fait du CIR (paramètre γ) est un déterminant important du coût d'usage du capital de recherche. Ce paramètre tient compte du caractère incrémental ou en volume du CIR, ainsi que des possibles plafonnements du CIR (avant 2008). Il correspond à la réduction du coût de la R&D en euros, pour un euro de capital de recherche utilisé par l'entreprise. L'évolution de ce paramètre est reportée dans le graphique 3 en distinguant :

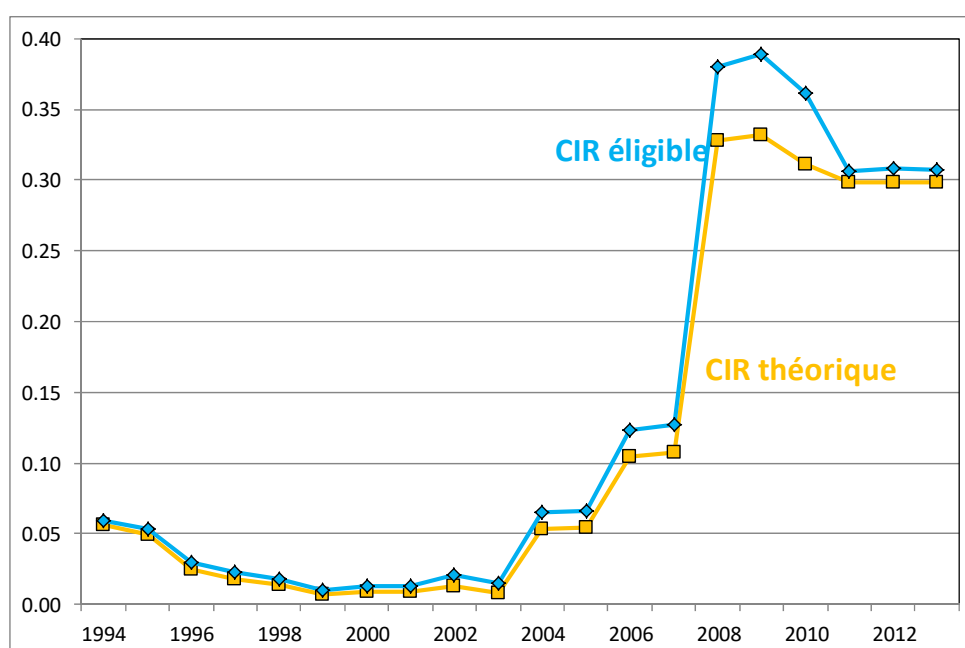
- un effet du « CIR théorique », calculé en considérant que l'ensemble des dépenses déclarées dans l'enquête R&D sont éligibles au CIR ;
- un effet du « CIR éligible », calculé en tenant compte du taux d'éligibilité au CIR des différentes dépenses de R&D déclarées par l'entreprise.

On retrouve un profil similaire aux anciennes évaluations avec une baisse tendancielle de l'effet du CIR incrémental de 1994 à 2003. Les réformes du CIR en 2004 et en 2006, qui introduisent une part de CIR en volume (à 5 % en 2004 et 2005, et à 10 % en 2006 et 2007), augmentent l'effet du

CIR par palier. La réforme de 2008 est plus drastique car le taux du CIR en volume passe à 30 % pour la majorité des entreprises. Il est même supérieur à ce seuil du fait en raison de l'existence d'un taux majoré pour la première et la seconde année de déclaration au CIR. Il revient à son niveau nominal à partir de 2011 du fait de l'abandon de ces majorations.

Par ailleurs, l'effet du « CIR éligible » est toujours supérieur en moyenne à l'effet du « CIR théorique », étant donné que le taux moyen d'éligibilité est supérieur à 100 %. L'écart entre les deux effets est très important entre 2008 et 2010, car les frais de fonctionnement pris en compte correspondent à 75 % de la masse salariale des personnels de R&D. Ce taux a été réduit à 50 % en 2011, ce qui diminue la surestimation des dépenses de R&D éligibles au CIR.

Graphique 3 : Évolution de l'impact du CIR sur le coût d'usage de la R&D (1994-2014)



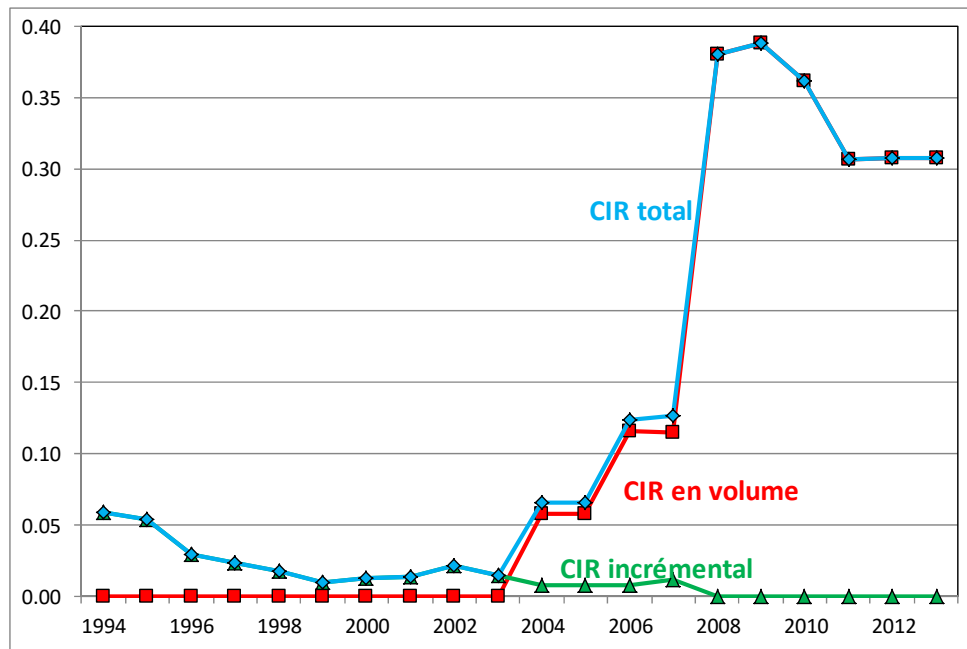
En tenant compte de l'éligibilité des dépenses, le graphique 4 donne la décomposition de l'effet du CIR entre la partie incrémentale et la partie en volume. On retrouve classiquement la perte tendancielle d'efficacité du CIR incrémental : la réduction du coût d'utilisation d'un euro de capital recherche permise par le CIR était en moyenne de 6 centimes en 1994 et a chuté à 1,5 centimes en 2007). Cette évolution s'explique principalement par la diminution tendancielle du taux de rendement réel attendu dans les entreprises (voir les formules de calcul de l'effet du CIR et plus particulièrement le paramètre γ dans le tableau 1 qui dépend de la différence entre le taux de rendement nominal ρ et le taux d'inflation π).

Dès son introduction, le CIR en volume a eu un effet beaucoup plus important que le CIR incrémental. En effet en 2004, le coût d'utilisation d'un euro de capital recherche était en moyenne réduit de 0,7 centime avec le CIR incrémental, contre 5,8 centimes avec le CIR en volume¹⁵. Pour

¹⁵ Cet effet est légèrement supérieur au taux nominal en volume (5 %) car on tient compte des dépenses de R&D éligibles au CIR.

2007, la dernière année du CIR incrémental, celui-ci donnait une réduction du coût d'utilisation d'un euro de capital recherche de 1,2 centime en moyenne, alors que le CIR en volume diminuait ce coût de 11,5 centimes en moyenne. Après la réforme, qui a supprimé le CIR incrémental, la réduction du coût en 2008, 2009 et 2010 est en moyenne de 38 centimes pour un euro de capital recherche. Cette réduction de coût est moindre en 2011, 2012 et 2013 avec 31 centimes en moyenne en raison de la réduction de l'éligibilité des dépenses de R&D.

Graphique 4 : Évolution des différentes composantes du « CIR éligible » sur le coût d'usage de la R&D (1994-2014)

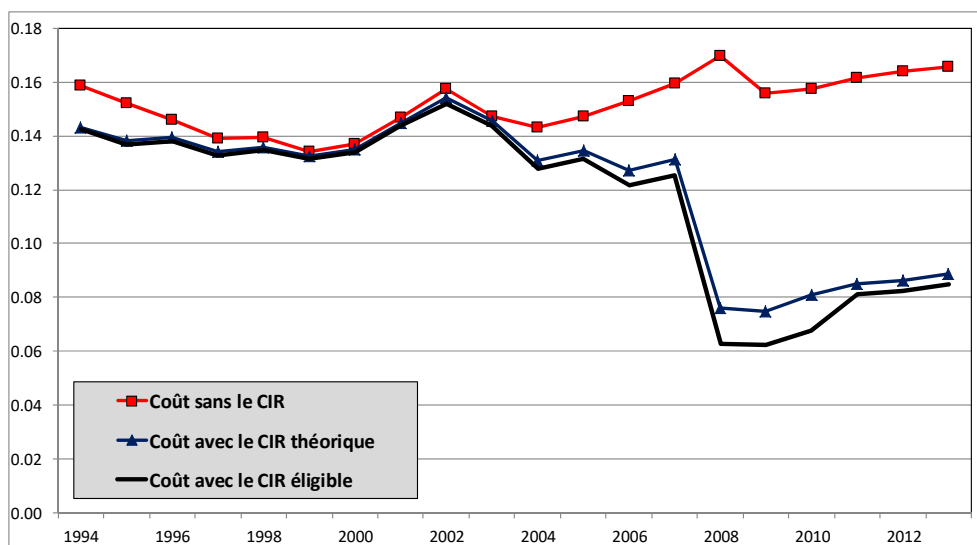


2.3. L'impact du CIR sur le coût d'usage réel de la R&D

On voit sur le graphique 5, que sans tenir du CIR, le coût d'utilisation d'un euro (réel) de capital recherche aurait connu une baisse entre 1994 et la fin des années quatre-vingt-dix, de 0,159 € en moyenne à 0,134 €, puis une hausse tendancielle pour terminer en 2013 à 0,166 € avec des pointes en 2002 et en 2008, suivies de corrections.

Quand on tient compte du CIR, la moyenne du coût suit la courbe du coût sans le CIR jusqu'en 2003, avec une réduction de l'écart sur cette période en raison de la moindre efficacité du CIR incrémental. Par la suite, l'introduction d'un CIR en volume en 2004, et son renforcement en 2006, et surtout en 2008, a permis de réduire très fortement le coût de la R&D : sans prise en compte du CIR, ce coût progressait en moyenne de de 0,143 € en 2004 à 0,170 € à 2008, alors qu'il restait quasiment stable sur cette période en tenant compte du CIR : autour de 0,131 € avec le « CIR théorique », et 0,127 € avec le « CIR éligible ».

Graphique 5 : Évolution de la moyenne du coût réel de la R&D (1994-2013)

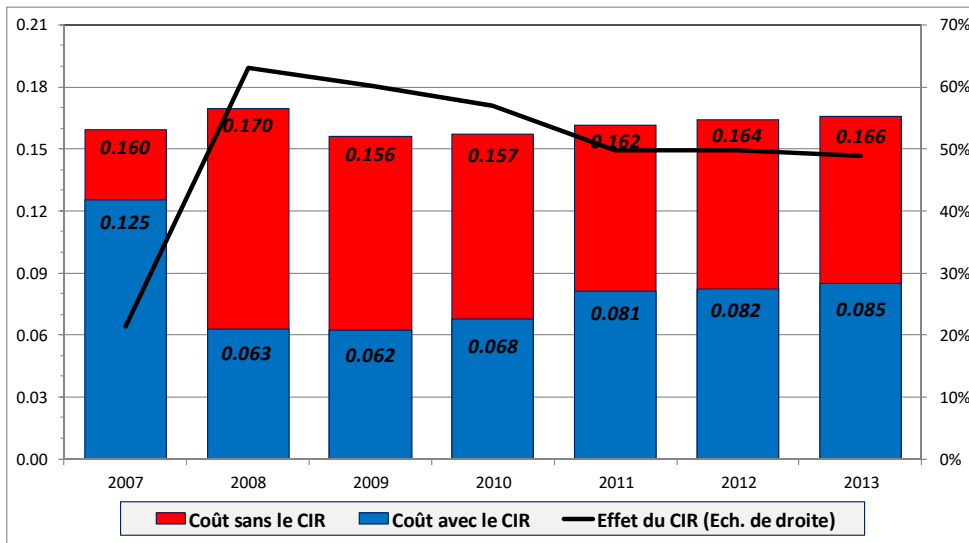


La réforme de 2008 s'est traduite par une baisse très sensible du coût d'utilisation d'un euro de capital recherche par rapport au coût sans le CIR qui atteignait un sommet à 0,170 €. En moyenne, avec le « CIR théorique », ce coût s'élevait à 0,076 € en 2008, soit une baisse de 55 % en moyenne. En moyenne, avec le « CIR éligible », la réduction de coût est encore plus importante, avec un coût moyen de 0,063 €, soit une baisse de 63 %.

Après une correction en 2009, certainement liée à la crise économique de 2008, le coût de la R&D a augmenté légèrement en moyenne. Si on ne tient pas compte du CIR, le coût moyen (sans le CIR) est passé de 0,156 € à 0,166 € en 2013. Il a aussi augmenté lorsque l'on tient compte du CIR : de 0,076 € à 0,089 € avec le « CIR théorique » et de 0,062 € à 0,085 € avec le « CIR éligible ». Cette forte hausse (+ 2,3 centimes par euro de capital recherche utilisé contre + 1 centime en moyenne sans le CIR) s'explique par la modification de la prise en compte des frais généraux, et de nouvelles règles de plafonnement des dépenses externalisées de R&D. L'avantage du CIR s'est ainsi réduit entre 2009 et 2013.

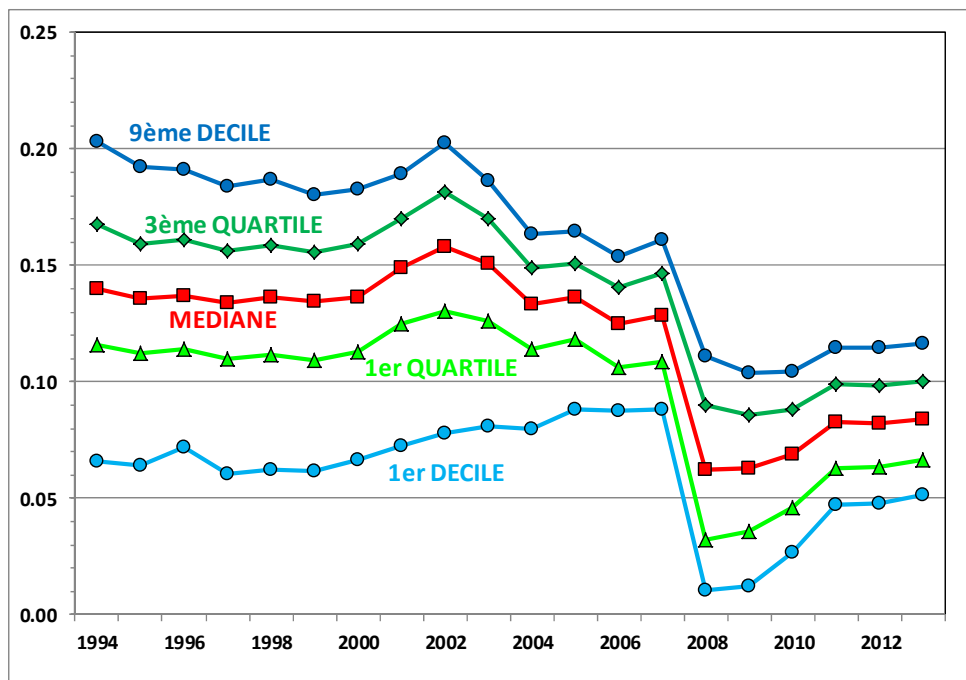
Le graphique 6 synthétise les évolutions récentes du coût de la R&D en prenant en compte la R&D éligible au CIR. Alors qu'en 2007, l'effet du CIR réduisait en moyenne le coût de la R&D de 0,035 € (soit 21 %), cet effet a fortement augmenté en 2008 avec une réduction du coût moyen de la R&D de 0,107 € du fait du CIR (soit 63 % de réduction du coût). De 2009 à 2013, on a alors assisté à une réduction de l'effet du CIR sur le coût moyen de la R&D qui est passé de 60 % en 2009 à 50 % en 2011. Finalement entre 2011 et 2013, cet effet est resté constant, même si on constate une légère évolution positive du coût de la R&D qui est due aux autres variables composant ce coût.

Graphique 6 : Effet moyen du CIR après la réforme de 2008



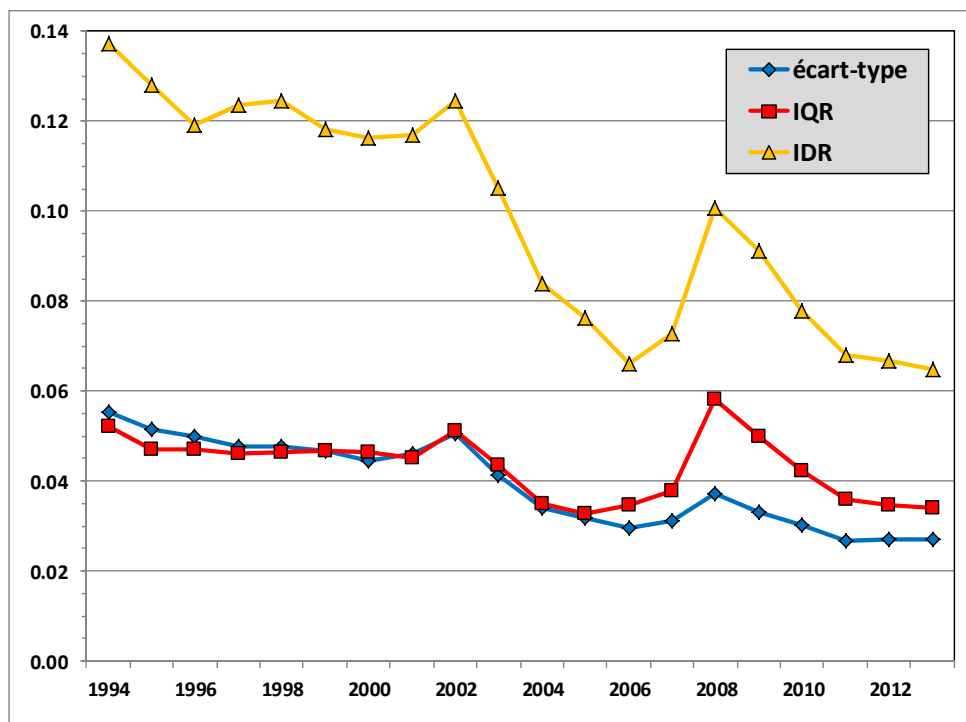
Le graphique 7 présente quelques éléments de la distribution du coût de la R&D, avec la médiane, les quartiles et les premier et dernier déciles. Globalement la distribution du coût de la R&D entre les entreprises se déplace entièrement en suivant la médiane. Sur la première partie de la période d'observation, avant la réforme de 2008, la dispersion du coût de la R&D s'est réduite, surtout quand on considère les extrémités de la distribution indiquées par les déciles extrêmes. En 2008, la réforme du CIR augmente la dispersion du coût de la R&D parce que le premier décile et le premier quartile diminuent davantage que respectivement le troisième quartile et le neuvième décile. Par la suite, le coût de la R&D se concentre de nouveau à la fin de la période d'observation, principalement par une remontée plus importante du bas de la distribution.

Graphique 7 : Évolution de la distribution du coût réel de la R&D (1994-2013)



Finalement l'écart-type, l'écart interquartile (IQR) et l'écart inter-décile (IDR) sont indiqués dans le graphique 8. Cela confirme la forte réduction tendancielle de la dispersion des coûts de la R&D entre les entreprises. Celle-ci est plus forte pour les extrémités de la distribution. Cette diminution de la dispersion se fait aussi par cycle : après une légère réduction entre 1994 et 2001, qui se termine par une remontée de la dispersion en 2002. Celle-ci chute alors brutalement de 2002 à 2006, pour remonter fortement en 2008. Par la suite, la dispersion se réduit tout d'abord fortement jusqu'en 2011, ensuite plus lentement jusqu'en 2013.

Graphique 8 : Évolution de l'écart-type, de l'écart-inter-quartile et de l'écart inter-décile du coût réel de la R&D (1994-2014)



2.4. Variabilité intra et inter des différentes variables

Dans les modèles économétriques, qui seront explicités dans la section suivante, on introduit généralement un effet individuel et un effet temporel afin de capter respectivement les caractéristiques inobservées des entreprises qui sont invariantes dans le temps, et les effets conjoncturels qui affectent de la même manière toutes les entreprises lors d'une même année. Cela implique que les estimations des effets du CIR ne reposent que sur la variabilité intra-individuelle intra-temporelle (ou double-intra) des observations. La précision des effets estimés dépend de l'importance de cette variabilité double-intra : plus elle est importante, plus les estimateurs pourront être précis.

Le tableau 2 suivant présente, pour différentes variables, les écarts-types dans la dimension double-intra, c'est-à-dire après avoir éliminé la variabilité inter-individuelle, qui correspond à des différences systématiques entre les entreprises, et la variabilité inter-temporelle, qui indique des différences entre les moyennes de chacune des années d'observations. Plus les écarts-types double-

intra seront importants, plus les estimations peuvent être précises. D'autre part, la part de la variabilité double-intra, utile dans la régression, est reportée en proportion de la variabilité totale, parce qu'on peut décomposer cette variabilité totale sous la forme¹⁶ :

$$\begin{aligned} \text{Variabilité totale} &= \text{Variabilité inter – individuelle} \\ &+ \text{Variabilité inter – temporelle} \\ &+ \text{Variabilité double – intra} \end{aligned} \quad (4)$$

Les calculs présentés ici portent sur trois sous-périodes : la première de 1994 à 2003 avant l'introduction d'un CIR en volume, la deuxième de 2004 à 2007 avec la coexistence du CIR incrémental et du CIR en volume, et enfin la période 2008 à 2013 après la réforme du CIR où ne subsiste que le CIR en volume.

En général les écarts-types double-intra diminuent pour toutes les variables sur la seconde période par rapport à la première. Il faut noter que la deuxième sous-période ne comporte que 4 années, alors que la première est beaucoup plus longue avec 10 années d'observations. En revanche ces écarts-types double intra augmentent lors de la dernière sous-période (6 années). Cette augmentation est très sensible pour l'effet du CIR sur le coût de la R&D éligible au CIR (*Gamma x Taux Eligibilité*), ainsi que pour le coût de la R&D avec le CIR : *log(C CIR)* ou la réduction du coût du fait du CIR (*Effet CIR*), que l'on prenne en compte ou non les dépenses de R&D éligibles au CIR. Ainsi les estimations au cours de la dernière période seront probablement plus précises que sur la période antérieure. On peut noter qu'au cours de la dernière période, il y a encore une variabilité double-intra pour le taux effectif du CIR (*Gamma*), alors que quasiment toutes les entreprises sont dans la première tranche du taux (30 %). Mais les différences de taux pour les nombreuses entreprises qui commencent à effectuer de la R&D lors de leur première et seconde année, doivent certainement jouer dans la variabilité de *Gamma* au cours de cette période. Si on ajoute l'effet du taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR, on a un écart-type double-intra de l'effet du CIR encore plus élevé : il est 2 à 4 fois plus grand par rapport au taux nominal que l'obtient si toute la R&D était éligible au CIR. On introduit de ce fait de la variabilité entre les entreprises et entre les années pour celle-ci en tenant compte de la composition de leur R&D. Cela se traduit également dans le coût de la R&D avec le CIR et dans l'effet du CIR sur ce coût : l'écart-type double-intra est sensiblement plus élevé lorsqu'on tient compte du taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR.

La part de la variabilité double-intra varie fortement entre les sous-périodes et entre les variables. On retrouve ici aussi la baisse de la part de la variabilité double-intra au cours de la seconde sous-période, qui se trouve compensée par une hausse lors de la période après la réforme. Cela est particulièrement marqué pour les variables qui impliquent le CIR, que ce soit sans le taux d'éligibilité ou avec celui-ci. Il en résulte qu'il sera probablement plus facile d'estimer les effets du CIR sur la dernière sous-période, du fait que la variabilité des effets du CIR sera plus importante au niveau des entreprises. L'introduction du taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR renforce cette

¹⁶ Comme l'échantillon est non-cylindré, on effectue cette décomposition en deux étapes. Tout d'abord, on calcule la variabilité inter-temporelle et intra-temporelle. Ensuite, on décompose la variabilité intra-temporelle en une variabilité inter-individuelle, et une variabilité double-intra, après avoir centré les variables par rapport à leur moyenne temporelle.

variabilité du coût de la R&D incluant l'effet du CIR, ce qui permettra une meilleure identification des effets du CIR sur la période post-réforme.

Tableau 2 : Évolution de variabilité double-intra : écarts-types et parts (1994-2014)

Double - Intra	1994 - 2003		2004 - 2007		2008 - 2013	
	ECART-TYPE	PART VARIABILITE	ECART-TYPE	PART VARIABILITE	ECART-TYPE	PART VARIABILITE
Observations	24 688		13 129		18 223	
Entreprises	4 283		4 144		3 767	
log(G)	0.490	6.6%	0.222	1.0%	0.313	2.4%
Log(V)	0.335	3.0%	0.208	0.9%	0.271	1.8%
Tx.Marge	0.123	21.0%	0.117	15.1%	0.129	21.2%
log(RD)	0.527	8.1%	0.442	4.1%	0.465	6.0%
Taux Éligibilité	0.225	32.7%	0.220	23.6%	0.228	34.8%
Gamma	0.012	29.9%	0.005	2.7%	0.039	52.0%
Gamma x Taux Éligibilité	0.017	45.0%	0.022	16.5%	0.088	38.7%
log(C base)	0.031	12.7%	0.012	2.7%	0.005	0.6%
log(C avant CIR)	0.063	20.8%	0.041	13.5%	0.041	21.9%
log(C avec CIR théorique)	0.069	22.8%	0.049	16.0%	0.246	49.3%
log(C avec CIR éligible)	0.075	25.5%	0.068	19.4%	0.422	38.8%
Effet CIR théorique	0.025	31.8%	0.014	4.4%	0.232	54.6%
Effet CIR éligible	0.038	49.1%	0.047	17.3%	0.413	40.0%

G : Capital recherche en fin d'année en volume ; *V* : Valeur ajoutée (en valeur) ; *RD* : les dépenses totales de recherche-développement (en valeur) ; *Tx.Marge* : le taux de marge calculé comme le ratio de l'excédent brut d'exploitation sur la valeur ajoutée ; *Taux Éligibilité* : la part des dépenses de R&D éligible au CIR ; *Gamma* : la réduction du coût de la R&D du fait du CIR ; *C base* : le coût de la R&D sans fiscalité, ni CIR ; *C sans CIR* : le coût de la R&D sans le CIR, mais après fiscalité et dépréciation ; *C CIR* : le coût de la R&D avec le CIR selon la prise en compte (2^{ème} mesure) ou non (1^{ère} mesure) de l'éligibilité des dépenses de R&D au CIR ; et finalement *Effet CIR* : la réduction du coût de la R&D du fait du CIR.

Note de lecture : L'écart-type est calculé en éliminant de la variable la composante propre à l'entreprise (constante dans le temps) et la composante propre à l'année (identique pour toutes les entreprises). Il reste alors la variabilité au sein de l'entreprise. La part de variabilité indique l'importance de la variabilité qui peut être attribuée à des variations au sein de l'entreprise en éliminant la variabilité due à des différences entre les entreprises, et due à des différences entre année.

3. Les résultats des estimations

3.1 Le modèle empirique

Le modèle économétrique est basé sur une relation entre le stock de capital de R&D, la production de l'entreprise, mesurée par sa valeur ajoutée nominale, et le coût du capital de R&D défini précédemment. Celui-ci incorpore l'effet du CIR qui réduit le coût pour l'entreprise. Si on suppose qu'une entreprise maximise sa valeur de marché, c'est-à-dire la somme actualisée de ses profits futurs nets des taxes, en choisissant une fonction de production de type CES (Constant-Elasticity of Substitution) à élasticité de substitution constante entre le capital de R&D et un agrégat mesurant les autres inputs de production (capital fixe, travail,...), on obtient une relation linéaire en logarithme pour le capital de R&D optimal pour l'entreprise :

$$k^* = a + \theta v - \sigma c \quad (5)$$

avec k^* le log du capital de R&D optimal, v le log de la valeur ajoutée nominale et c le log de coût du capital de R&D, et a une constante qui dépend des autres caractéristiques de l'entreprise. Le paramètre σ est l'élasticité de substitution entre le capital de R&D et les autres facteurs de production, et $\theta = \sigma + (1 - \sigma) \mu / \omega$ est l'élasticité du capital de R&D optimal à la demande avec un rendement d'échelle ω et le taux de *mark-up* sur le coût marginal μ .

Cette équation log-linéaire est une équation d'équilibre de long-terme qui correspond au niveau optimal de capital de R&D que l'entreprise voudrait utiliser en anticipant sa demande et en constatant le coût de ce capital de R&D.

Afin de prendre en compte les différents délais dans les projets de R&D, cette équation de long terme est introduite dans une spécification dynamique sous la forme d'un modèle autorégressif à retards échelonnés, ou modèle ADL (Autoregressive Distributed Lags) avec 3 retards sur la partie autorégressive et sur la partie des retards échelonnés ¹⁷. Nous introduisons des indicatrices temporelles δ_t pour tenir compte des fluctuations conjoncturelles qui affectent toutes les entreprises à une même période, et des effets individuels α_i pour tenir compte de caractéristiques des entreprises non observées (et que l'on peut supposer à peu près constantes). Nous tenons compte par ailleurs des contraintes financières pouvant conduire les entreprises à retarder ou différer leurs programmes d'investissement en R&D certaines années. Ces contraintes de liquidité peuvent s'expliquer par une information asymétrique entre les investisseurs et l'entreprise, ou encore par des marchés de capitaux imparfaits qui évaluent difficilement les résultats de la R&D et leur incertitude. Ces contraintes financières sont intégrées au modèle en incluant dans sa spécification le taux de marge de l'entreprise $\pi = ebe/v$, soit l'excédent brut d'exploitation rapporté à la valeur ajoutée de l'entreprise.

¹⁷ Le choix de $p = 3$ et $q = 3$ du modèle ADL(p,q) avec p retards sur la partie autorégressive et q retards sur la partie des retards échelonnés, nous a paru tout à fait satisfaisante.

$$\begin{aligned}
k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + \gamma_1 k_{i,t-1} + \gamma_2 k_{i,t-2} + \gamma_3 k_{i,t-3} \\
& + \theta_0 v_{i,t} + \theta_1 v_{i,t-1} + \theta_2 v_{i,t-2} + \theta_3 v_{i,t-3} \\
& + \sigma_0 c_{i,t} + \sigma_1 c_{i,t-1} + \sigma_2 c_{i,t-2} + \sigma_3 c_{i,t-3} \\
& + \kappa_0 \pi_{i,t} + \kappa_1 \pi_{i,t-1} + \kappa_2 \pi_{i,t-2} + \kappa_3 \pi_{i,t-3} + \varepsilon_{i,t}
\end{aligned} \tag{6}$$

où les indices i et t qui indiquent respectivement l'entreprise et la période, et $\varepsilon_{i,t}$ désigne le terme d'erreur idiosyncratique.

Le modèle ADL peut être transformé sous forme d'un modèle à correction d'erreur ou modèle ECM (Error Correction Model), ce qui permet son interprétation comme un équilibre autour d'un sentier de croissance en séparant explicitement l'équilibre de long terme entre le capital de R&D et ses déterminants d'une part, et la dynamique d'ajustement de court terme d'autre part (voir Annexe 2).¹⁸ C'est cette forme que nous utilisons pour les estimations. L'équation empirique sous la forme ECM devient :

$$\begin{aligned}
\Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + \eta_1 \Delta k_{i,t-1} + \eta_2 \Delta k_{i,t-2} + \xi_0^v \Delta v_{i,t} + \xi_1^v \Delta v_{i,t-1} + \xi_2^v \Delta v_{i,t-2} \\
& + \Delta c_{i,t} + \xi_1^c \Delta c_{i,t-1} + \xi_2^c \Delta c_{i,t-2} + \xi_0^\pi \Delta \pi_{i,t} + \xi_1^\pi \Delta \pi_{i,t-1} + \xi_2^\pi \Delta \pi_{i,t-2} \\
& + \phi (k_{i,t-1} - \theta v_{i,t-1} + \sigma c_{i,t-1} - \kappa \pi_{i,t-1}) + \varepsilon_{i,t}
\end{aligned} \tag{7}$$

Les deux premières lignes de cette expression représentent l'ajustement dynamique de court terme basé sur les variations des variables explicatives du modèle, alors que la dernière ligne fait apparaître l'écart entre le capital de R&D observé et ses déterminants de long terme à la période précédente $t - 1$ avec les paramètres de long terme du modèle. Seulement une partie ϕ de cet écart est comblé à la période suivante. Remarquons que le paramètre ϕ doit être négatif afin que la correction de cet écart ou de cette erreur se fasse dans le bon sens. On peut aussi noter que la variation du capital de R&D ($\Delta k_{i,t}$) peut se réécrire comme :

$$\Delta k_{i,t} \approx \frac{R_{i,t}}{K_{i,t-1}} - \delta_i$$

où $R_{i,t}$ sont les dépenses de R&D de l'entreprise i à la période t , $K_{i,t-1}$ est le capital de R&D de l'entreprise en fin de période $t - 1$, ce qui correspond au début de la période t , et δ_i est le taux de dépréciation (exponentiel) du capital R&D de l'entreprise. Ce taux de dépréciation est certainement , dans une large mesure, propre à l'entreprise, mais il se confond avec l'effet individuel α_i dans l'estimation. Cependant nous

Finalement en notant $\lambda^v = -(\theta - 1)\phi$, $\lambda^c = (\sigma + 1)\phi$, et $\lambda^\pi = -(\kappa - 1)\phi$, on peut réécrire le modèle sous la forme :

¹⁸ Notons que l'estimation du modèle ADL en le différenciant pour éliminer les effets individuels α_i plutôt qu'en le re-paramétrant sous la forme d'un modèle ECM conduit au modèle classique d'accélérateur de l'investissement lequel ne permet pas l'interprétation des résultats en terme d'un ajustement autour d'un équilibre stationnaire de long terme et peut conduire à des estimations non convergentes ou plus fragiles (Voir section 3.2).

$$\begin{aligned}
\Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + \eta_1 \Delta k_{i,t-1} + \eta_2 \Delta k_{i,t-2} + \xi_0^v \Delta v_{i,t} + \xi_1^v \Delta v_{i,t-1} + \xi_2^v \Delta v_{i,t-2} \\
& + \Delta c_{i,t} + \xi_1^c \Delta c_{i,t-1} + \xi_2^c \Delta c_{i,t-2} + \xi_0^\pi \Delta \pi_{i,t} + \xi_1^\pi \Delta \pi_{i,t-1} + \xi_2^\pi \Delta \pi_{i,t-2} \\
& + \phi (k_{i,t-1} - v_{i,t-1} - c_{i,t-1} - \pi_{i,t-1}) + \lambda^v v_{i,t-1} + \lambda^c c_{i,t-1} + \lambda^\pi \pi_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}
\end{aligned} \tag{8}$$

Dans le modèle ECM, les effets de long terme de chacun des déterminants du capital de R&D dépendent seulement du paramètre de correction d'erreurs ϕ qui détermine largement la vitesse d'ajustement et des paramètres des variables explicatives en niveau au temps $t - 1$. Ils sont donnés respectivement par les expressions :

$$\theta = 1 - \frac{\lambda^v}{\phi}, \quad \sigma = \frac{\lambda^c}{\phi} - 1, \quad \text{et} \quad \kappa = 1 - \frac{\lambda^\pi}{\phi} \tag{9}$$

Les élasticités de court terme sont des fonctions non-linéaires récursives, qui peuvent être calculées à partir des paramètres dynamiques de la spécification ECM. Il est cependant possible de simplifier l'expression du retard moyen (RM) des déterminants de la R&D. On aura respectivement pour les variables explicatives du capital de R&D :

$$\begin{cases}
RM^v = \frac{\xi_0^v + \xi_1^v + \xi_2^v}{\phi - \lambda^v} + \frac{\eta_1 + \eta_2 - 1}{\phi} \\
RM^c = -\frac{\xi_0^c + \xi_1^c + \xi_2^c}{\phi - \lambda^c} + \frac{\eta_1 + \eta_2 - 1}{\phi} \\
RM^\pi = \frac{\xi_0^\pi + \xi_1^\pi + \xi_2^\pi}{\phi - \lambda^\pi} + \frac{\eta_1 + \eta_2 - 1}{\phi}
\end{cases} \tag{10}$$

Le premier terme dépend des paramètres dynamiques de la variable considérée, qui correspond à la partie des retards échelonnés sur cette variable, alors que le second terme dépend de la dynamique de la variable dépendante.

Après l'estimation du modèle ECM, on peut calculer les effets de long terme et le retard moyen pour chaque variable explicative, comme des fonctions non linéaires des paramètres estimés. De même, en utilisant la « méthode du delta », on peut donner une estimation convergente de leur écarts-types.

3.2 Méthode d'estimation

Le modèle ECM (8) est estimée sur données d'un panel non-cylindré avec des effets individuels d'entreprise qui sont possiblement corrélés avec les variables explicatives du modèle. On peut éliminer ces effets individuels par une transformation intra-individuelle, mais celle-ci amène à une non-convergence de l'estimateur des moindres carrés du fait de la présence de l'effet individuel dans les variables dépendantes retardées¹⁹. Ce biais asymptotique est d'autant plus important que le panel est court (un faible nombre d'observations pour chaque individu) ou que le processus d'ajustement de la variable dépendante est lent. On a ici un panel comportant 15 observations au maximum, mais avec un faible nombre d'observations pour de nombreuses entreprises (voir Annexe 1). De plus on peut supposer *a priori* que l'ajustement du capital de R&D à son niveau optimal n'est

¹⁹ Voir S. Nickell (1980) : "Biases in Dynamic Models with fixed Effects", *Econometrica*, 49, p.1399-1416.

pas très rapide du fait des investissements importants que cela nécessite au niveau des entreprises, qui sont prudentes vis-à-vis des variations temporaires de la demande, du coût de la R&D et de leur liquidité.

Pour tenir compte de ces problèmes, on pourrait utiliser une méthode de variables instrumentales après une transformation intra-individuelle, mais celle-ci requiert des instruments fortement exogènes, ce qui est rare sur des données d'entreprises. On préfère ici utiliser la méthode d'estimation proposée par Manuel Arellano et Steve Bond, basée sur la méthode des moments généralisés, qui généralise la méthode de Balestra et Nerlove²⁰. Cela consiste tout d'abord à différencier le modèle pour éliminer l'effet individuel. Ensuite, on peut utiliser la variable dépendante retardée à partir de $t - 2$ et auparavant comme instruments, en écrivant les conditions de moments suivantes :

$$E[\Delta \varepsilon_{i,t} k_{i,t-j}] = 0 \quad \text{pour } \begin{cases} j = 2, 3, \dots, t-2 \\ t = 3, 4, \dots, T_i \end{cases} \quad (11)$$

à condition que l'erreur du modèle initial ($\varepsilon_{i,t}$) soit non autocorélée. Généralement, on n'utilise pas toutes les conditions des moments, mais seulement celles qui correspondent à un j peu élevé (3 à 6 par exemple).

D'autre part, si on suppose qu'une variable explicative est endogène (par exemple la valeur ajoutée), on peut aussi utiliser les retards de cette variable à partir de $t - 2$ comme instruments avec les conditions de moments supplémentaires :

$$E[\Delta \varepsilon_{i,t} v_{i,t-j}] = 0 \quad \text{pour } \begin{cases} j = 2, 3, \dots, t-2 \\ t = 3, 4, \dots, T_i \end{cases} \quad (12)$$

Si en revanche, on considère que la variable explicative est prédéterminée (plutôt qu'endogène), on voit immédiatement qu'on peut utiliser son retard en $t - 1$ (et au-delà) comme instrument.

Dans le modèle ECM (8), on a des variables en différences premières et des variables en niveau. Comme les variables en différences premières sont des transformations linéaires des variables en niveau, on peut se contenter d'utiliser seulement les variables en niveau (pour le capital de R&D, la valeur ajoutée, le coût du capital et le taux de marge) comme instruments dans l'estimation.

On utilisera ici la méthode des moments généralisés de Arellano et Bond optimale²¹, qui consiste à estimer le modèle avec une matrice de variance-covariance des erreurs homoscédastiques dans une première étape. Ensuite on utilise les résidus de cette première estimation pour construire une matrice de pondération optimale des instruments, c'est-à-dire la matrice de pondération qui

²⁰ M. Arellano et S. Bond (1991) : "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to employment Equations", *Review of Economic Studies*, 58, p. 277-298; et P. Balestra et M. Nerlove (1966) : "Pooling Cross Section and Time Series Data in the estimation of a Dynamic Model: The Demand for Natural Gas", *Econometrica*, 34, p.585-612.

²¹ Voir C. Cameron et P. Trivedi (2006) : *Microeconometrics – Methods and Applications* (Cambridge University Press) pour une présentation de l'estimation de modèles dynamiques sur données de panel.

minimise la variance des paramètres estimés dans une deuxième étape de l'estimation. On reportera les résultats de cette deuxième étape d'estimation.

3.3 Les résultats des estimations

Le modèle empirique est estimé sur deux sous-périodes correspondant à une période avant la réforme du CIR de 2008, soit 9 années de 1999 à 2007, et une période postérieure à la réforme, soit 6 années de 2008 à 2013. La première sous-période comprend 16 496 observations pour 4 037 entreprises, alors qu'il y a 12 903 observations pour 3 767 entreprises dans la deuxième sous-période. On peut noter que, sur les 6 024 entreprises différentes de notre échantillon sur la période 1999-2013, 1 780 (29,5 %) apparaissent dans les deux sous-périodes. En conséquence, il y a 2 257 entreprises qui sont présentes dans la première sous-période (1999-2007) et qui disparaissent de la seconde sous-période (2008-2013). En revanche 1 987 entreprises apparaissent seulement dans la deuxième sous-période.

Le modèle empirique ECM(3,3) estimé par la méthode d'Arellano-Bond, demande au moins 5 observations consécutives de données du fait des 3 retards et de la différence première. Cela implique que les observations utilisées dans les estimations portent sur des entreprises qui ont une activité de R&D persistante pendant au moins 5 années, ce qui est une limitation assez forte de cette étude. On ne prend pas en compte les entreprises qui font de la R&D sur une période plus courte, ou qui ont une activité de R&D intermittente. Ainsi on ne peut avoir les entreprises qui débutent une activité de R&D que tardivement après la réforme (après 2009), ou qui cessent leur activité de R&D ou qui disparaissent quelle qu'en soit la cause.

Les estimations sont réalisées avec les deux mesures du coût de la R&D qui ont été présentées dans la section 2 : la première mesure correspond à nos anciens travaux avec un effet du CIR qui porte sur l'ensemble de la R&D reportée dans l'enquête R&D (en tenant compte des frais généraux déclarés ou de la sous-traitance). La deuxième mesure pondère la R&D par un taux d'éligibilité au CIR en tenant compte de la composition de la R&D de l'entreprise, telle qu'elle est déclarée à l'enquête R&D. Nous avons remarqué plus haut que cette deuxième mesure impliquait une hausse de la variabilité double-intra du coût de la R&D, ce qui devrait faciliter l'identification de l'effet de ce coût sur la R&D.

Les résultats des estimations sont présentés dans le tableau de la page suivante. Dans tous les cas, les instruments utilisés sont le capital de R&D de $t - 2$ à $t - 4$. La valeur ajoutée considérée comme endogène est également instrumentée de $t - 2$ à $t - 4$ pour la seconde sous-période : 2008-2013, alors que pour la première sous-période d'estimation : 1999 - 2007, on prend la croissance de la valeur ajoutée nominale comme instruments. Finalement on considère que le coût de la recherche et le taux de marge sont prédéterminés et leurs retards de $t - 1$ à $t - 3$ sont utilisés comme instruments.

Le Tableau 3 ci-dessous présente les résultats des estimations par GMM pour les deux sous-périodes d'estimation avec le coût de la recherche théorique ou éligible, utilisant le taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR comme expliqué plus haut.

Tableau 3 : Résultats des estimations

	Coût de la Recherche Théorique				Coût de la Recherche Eligible			
	1999 - 2007		2008 - 2013		1999 - 2007		2008 - 2013	
	16 496 obs. 4 037 entr.		12 903 obs. 3 767 entr.		16 496 obs. 4 037 entr.		12 903 obs. 3 767 entr.	
	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.
D.log(G) (t-1)	0.099 **	(0.040)	0.270 ***	(0.047)	0.000	(0.047)	0.278 ***	(0.050)
D.log(G) (t-2)	-0.004	(0.008)	0.020 *	(0.011)	-0.105 ***	(0.037)	0.014	(0.011)
D.log(V) (t)	0.051	(0.074)	-0.082	(0.067)	-0.126	(0.116)	0.036	(0.059)
D.log(V) (t-1)	-0.065 ***	(0.014)	-0.021	(0.016)	-0.103 ***	(0.017)	-0.020	(0.015)
D.log(V) (t-2)	-0.024 ***	(0.007)	-0.009	(0.010)	-0.045 ***	(0.010)	-0.004	(0.009)
D.log(C) (t)	-0.198 ***	(0.053)	-0.017 *	(0.009)	-0.209 ***	(0.080)	-0.007	(0.006)
D.log(C) (t-1)	0.076 ***	(0.019)	0.005	(0.008)	0.084 ***	(0.029)	0.014 **	(0.006)
D.log(C) (t-2)	0.037 ***	(0.010)	-0.005	(0.004)	0.042 ***	(0.013)	0.004	(0.003)
D.TxMrg (t)	0.503 ***	(0.122)	0.427 **	(0.184)	1.126 ***	(0.178)	0.379 **	(0.176)
D.TxMrg (t-1)	-0.066 ***	(0.023)	0.011	(0.031)	-0.199 ***	(0.041)	-0.018	(0.033)
D.TxMrg (t-2)	-0.013	(0.012)	0.013	(0.014)	-0.042 **	(0.018)	-0.002	(0.015)
Erreur (t-1)	-0.302 ***	(0.035)	-0.145 ***	(0.033)	-0.369 ***	(0.046)	-0.148 ***	(0.035)
log(V) (t-1)	-0.062	(0.053)	-0.075	(0.086)	-0.241	(0.148)	0.052	(0.087)
log(C) (t-1)	-0.654 ***	(0.102)	-0.189 ***	(0.041)	-0.743 ***	(0.139)	-0.222 ***	(0.036)
TxMrg (t-1)	0.248 **	(0.099)	0.080	(0.179)	1.091 ***	(0.236)	0.072	(0.186)
an_2000	0.027 ***	(0.006)			0.029 ***	(0.007)		
an_2001	0.021	(0.013)			0.046 **	(0.018)		
an_2002	0.059 ***	(0.017)			0.097 ***	(0.028)		
an_2003	0.058 ***	(0.017)			0.100 ***	(0.029)		
an_2004	0.035 **	(0.014)			0.082 ***	(0.026)		
an_2005	0.034 **	(0.015)			0.082 ***	(0.028)		
an_2006	0.014	(0.016)			0.060 **	(0.027)		
an_2007	0.016	(0.017)			0.064 **	(0.032)		
an_2008								
an_2009			-0.038 ***	(0.014)			-0.079 ***	(0.016)
an_2010			-0.057 **	(0.026)			-0.107 ***	(0.028)
an_2011			-0.053 *	(0.030)			-0.114 ***	(0.033)
an_2012			-0.053	(0.034)			-0.108 ***	(0.037)
an_2013			-0.057	(0.036)			-0.112 ***	(0.039)
Test Sargan	147.73 ***	[0.0000]	36.47	[0.1053]	38.26 *	[0.0740]	34.30	[0.1574]
Test m1	-4.445 ***	[0.0000]	-5.403 ***	[0.0000]	-3.609 ***	[0.0003]	-5.232 ***	[0.0000]
Test m2	-1.252	[0.2105]	-0.185	[0.8530]	0.688	[0.4912]	-0.038	[0.9695]
F test : Time	83.41 ***	[0.0000]	33.46 ***	[0.0040]	52.21 ***	[0.0000]	70.19 ***	[0.0040]

Note de lecture : Paramètres estimés avec la méthode GMM d'Arellano et Bond, écarts-type robustes à l'hétéroscédasticité entre parenthèse. *** : paramètre significatif au niveau de 1 %, ** : paramètre significatif au niveau de 5 %, * : paramètre significatif au niveau de 10 %.

Test de Sargan : test de validité des instruments, distribué selon une loi du Khi-deux avec 27 degrés de liberté sous l'hypothèse nulle. Test m1 et m2 : tests d'autocorrélation des erreurs (en différences premières) distribués selon une loi normale standard sous l'hypothèse nulle. Test F : test de nullité conjointe des indicatrices temporelles, distribué selon une loi F de Fisher sous l'hypothèse nulle.

Globalement les instruments utilisés sont valides, du fait que l'on accepte l'hypothèse de validité des conditions d'orthogonalité. Cela est davantage le cas pour la seconde sous-période que pour la première où les instruments sont seulement valides à un niveau de 10%. En revanche les erreurs du modèle peuvent être considérées comme un bruit blanc, du fait que les tests d'autocorrélation $m1^{22}$ montrent une forte autocorrélation des erreurs en différence première et que le test $m2$ accepte l'absence d'autocorrélation de ces erreurs différenciées. Cela implique que les erreurs en différence première suivent un processus de moyenne mobile d'ordre 1, et que les erreurs en niveau ne sont pas autocorrélées. Cela nous permet d'utiliser les instruments GMM à partir de $t - 2$.

Les indicatrices temporelles sont conjointement significatives quelle que soit l'estimation considérée. On peut noter qu'elles deviennent négatives sur la seconde sous-période (2008-2013), ce qui implique que d'autres facteurs pèsent négativement sur le capital R&D après la crise de 2008-2009.

Les résultats montrent qu'il y a en fait peu de différence entre les deux calculs du coût de la recherche : théorique ou éligible. Les paramètres estimés sont assez proches et leur différence est souvent inférieure à leur écart-type estimé. Le paramètre crucial pour déterminer la vitesse d'ajustement du capital recherche à un choc est donné par le paramètre de correction de l'erreur (*erreur*). Il est comme attendu négatif, c'est-à-dire que la correction se fait dans le bon sens, et est deux fois plus important pour la première sous période que pour la seconde. On peut considérer que, dans la première sous-période, plus de 30 % de l'écart entre le capital recherche désiré par l'entreprise et son capital recherche existant est comblé au cours de l'année. L'ajustement se fait alors beaucoup plus rapidement que lors de la seconde sous période, où seulement environ 15 % de l'écart est corrigé au cours d'une année. L'ajustement est donc deux fois plus lent après 2008. Il semblerait que l'abandon du CIR incrémental ait ralenti l'ajustement du capital recherche à des variations de son coût. Pour une entreprise, les modifications du coût de la recherche due au CIR incrémental étaient beaucoup plus importantes et volatiles d'une période à l'autre parce que ces changements dépendaient de la hausse ou de la baisse des dépenses de recherche. En abandonnant le CIR incrémental, pour un CIR purement en volume, la baisse du coût devient plus constante pour l'entreprise, qui réagit davantage à long terme à ses variations.

Il y a davantage de paramètres de la forme ECM qui sont significatifs dans la première sous-période que dans la deuxième sous-période. Mais il est difficile d'interpréter directement ces paramètres. C'est pourquoi on va tout d'abord s'intéresser aux effets de long terme des différents déterminants du capital recherche qui sont présentés dans le Tableau 4. L'élasticité de long terme du coût de la recherche n'est pas très différente entre les deux mesures de ce coût : avec ou sans prendre en compte le taux d'éligibilité au CIR des dépenses de R&D. La différence est plus grande selon les sous-périodes d'estimation avec une élasticité beaucoup plus importante (en valeur absolue) pour la première sous période, mais avec un écart-type aussi plus important. Cette élasticité dépasse l'unité pour la période 1999-2007 où on avait un système du CIR incrémental (au moins en partie). Les entreprises semblaient plus sensibles au coût de la recherche, que dans la seconde sous-période après la réforme de 2008. Néanmoins avec une valeur de 0,31 pour le coût de la recherche

²² Voir M. Arellano et S. Bond (1991) : "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to employment Equations", *Review of Economic Studies*, 58, p. 277-298.

théorique, ou de 0,50 pour le coût de la recherche prenant en compte l'éligibilité des dépenses, on a encore une valeur relativement importante et significativement supérieure à zéro. Avec le coût de la recherche éligible au CIR, si celui-ci se réduit de 10 %, on peut s'attendre à une augmentation du capital de recherche à l'équilibre de 5 %. Cette élasticité est proche de celle qui était retenue dans la meilleure spécification de notre article sur l'évaluation *ex-ante* de la réforme du CIR²³ (Oxford Economic Paper, 2013), soit 0,40. **Ainsi on peut estimer qu'à long terme, si le coût du capital recherche éligible baisse de 10 %, le capital recherche doit augmenter de 4 à 5 %, toutes choses égales par ailleurs.**

Tableau 4 : Effets de long terme

	Coût de la Recherche Théorique				Coût de la Recherche Éligible			
	1999 - 2007		2008 - 2013		1999 - 2007		2008 - 2013	
	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.
log(V)	0.794 ***	(0.170)	0.482	(0.579)	0.349	(0.405)	1.350 **	(0.617)
log(C)	-1.161 ***	(0.290)	-0.310 **	(0.141)	-1.012 ***	(0.383)	-0.500 ***	(0.149)
TxMrg	1.819 ***	(0.284)	1.555	(1.239)	3.954 ***	(0.674)	1.487	(1.268)

Note de lecture : Effet de long terme calculé d'après les estimations ci-dessus, écarts-type robustes à l'hétéroscédasticité entre parenthèse. *** : paramètre significatif au niveau de 1 %, ** : paramètre significatif au niveau de 5 %, * : paramètre significatif au niveau de 10 %.

Pour la période 2008-2013, si le coût de la recherche (ligne log(C)) diminue de manière permanente de 1 %, le capital recherche va augmenter à long terme de 0.31 % avec le coût de la recherche théorique et de 0.50 % pour le coût de la recherche éligible.

L'effet de long terme du taux de marge est positif et important (supérieur à l'unité) dans toutes les estimations, mais il n'est significatif que pour la période avant la réforme. Une augmentation du taux de marge de l'entreprise a un effet positif sur le niveau de son capital recherche et donc sa R&D à l'équilibre. On peut considérer que ce taux de marge peut soit révéler un effet de profitabilité de l'entreprise qui a un effet positif sur sa R&D, soit un effet de liquidité qui lui permet de financer des projets de R&D.

L'élasticité du capital recherche à la valeur ajoutée nominale est positive, mais assez volatile selon les périodes ou les définitions du coût de la recherche. Cette volatilité peut s'expliquer par la difficulté, déjà mentionnée, de trouver des variables instrumentales pertinentes pour la valeur ajoutée ou sa croissance. Néanmoins on ne peut rejeter l'hypothèse d'une élasticité unitaire entre le capital recherche et la valeur ajoutée nominale. On a estimé un modèle où on a imposé une élasticité de long terme unitaire pour la valeur ajoutée. Les résultats sont présentés dans l'annexe 3. A long terme, il y a peu de différence pour l'effet du coût de la recherche avec les estimations où cette élasticité est libre. Cela provient du fait que cette restriction est largement acceptée par les données.

²³ Benoît MULKAY and Jacques MAIRESSE (2013) : "The R&D tax credit in France: assessment and ex ante evaluation of the 2008 reform", *Oxford Economic Papers*, 65, p. 746-766.

On remarque juste un très léger fléchissement de l'effet de long terme du coût de la recherche, incluant le taux d'éligibilité, qui passe de 0,500 à 0,497 pour la période postérieure à la réforme.

La tableau 5 donne une mesure de la vitesse de l'ajustement dynamique pour une variation des différents déterminants du capital recherche dans la spécification où l'élasticité de la valeur ajoutée est libre (voir Tableau 3 ci-dessus). On a calculé pour chaque déterminant le retard moyen de l'ajustement à l'équilibre de long terme suite à un choc permanent sur ces déterminants. Cet ajustement est plus lent au cours de la période 2008-2013 pour l'ensemble des déterminants avec quasiment deux années de plus. Cela provient du fait que la correction de l'écart entre le capital recherche désiré et le capital recherche observé de l'entreprise est plus lente au cours de la seconde sous-période : l'entreprise comblait environ 37 % de l'écart chaque année pendant la première sous-période, alors qu'elle ne corrigeait annuellement que 15 % de l'écart après 2008. Cette lenteur du processus d'ajustement, conjuguée à la crise financière et à ses répercussions, pourrait expliquer pourquoi les effets de la réforme du CIR ne soient pas apparus rapidement dans les données statistiques de R&D. On peut aussi relier ce retard dans l'ajustement dynamique au fait que nous ne disposons que des entreprises ayant fait de la R&D de manière continue durant les 5 années précédentes. Ces entreprises ont peut-être une politique de R&D plus stable que les entreprises, plus petites, qui ont commencé récemment une activité de R&D du fait de l'effet incitatif de la réforme.

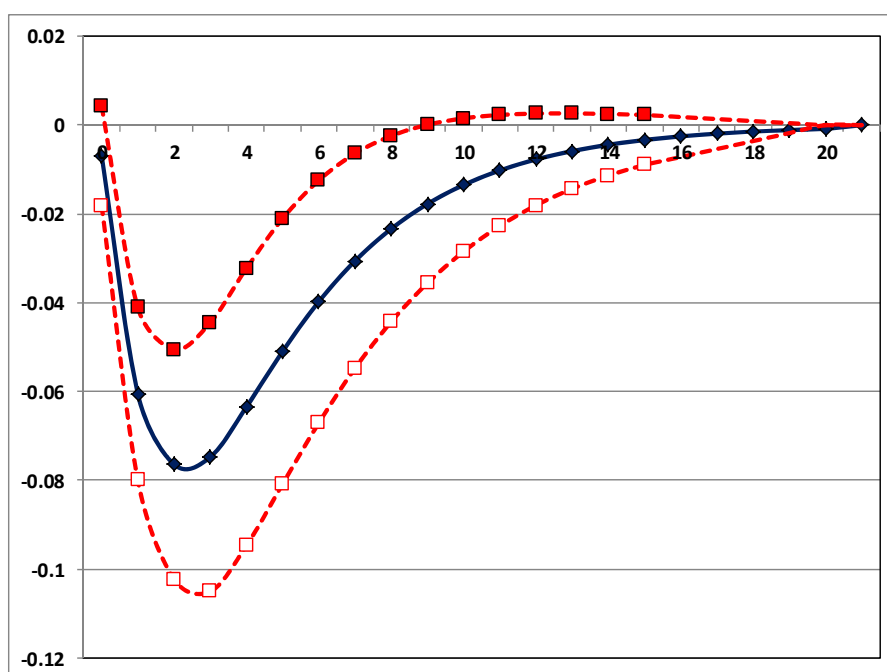
Tableau 5 : Retards moyens (en années)

	Coût de la Recherche Théorique				Coût de la Recherche Éligible			
	1999 - 2007		2008 - 2013		1999 - 2007		2008 - 2013	
	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.
log(V)	3.15 ***	(0.35)	6.52 ***	(2.54)	5.13	(3.42)	4.73 ***	(0.83)
log(C)	2.75 ***	(0.23)	4.54 ***	(0.94)	2.77 ***	(0.27)	4.95 ***	(0.84)
TxMrg	2.22 ***	(0.23)	2.91 **	(1.31)	2.39 ***	(0.27)	3.15 **	(1.23)

Note de lecture : Nombre moyen d'années pour s'ajuster dynamiquement un choc permanent, calculé d'après les estimations ci-dessus, écarts-type robustes à l'hétéroscédasticité entre parenthèse. *** : paramètre significatif au niveau de 1 %, ** : paramètre significatif au niveau de 5 %, * : paramètre significatif au niveau de 10 %. Pour la période 2008-2013, il faudra en moyenne 4.5 années pour s'ajuster à une variation permanente du coût de la recherche théorique. Cette valeur monte à 4.95 années avec le coût de la recherche éligible.

On peut aussi étudier l'effet d'une variation du coût de la recherche et son ajustement vers l'équilibre de long terme. En se basant sur l'estimation avec le coût de la recherche, incluant le taux d'éligibilité, pour la période postérieure à la réforme du CIR (2008-2013), on a considéré l'effet d'un choc temporaire (le coût revient après le choc à son niveau initial), et d'un choc permanent : le coût se maintient à sa nouvelle valeur. Les profils d'ajustement à ces chocs, temporaires ou permanents, sont indiqués dans les Graphiques 9 (a et b), avec un intervalle de confiance à 95 % (en pointillés). On considère ici une variation positive unitaire du coût de la recherche qui aura un effet négatif sur le capital recherche. L'effet d'une baisse du coût de la recherche est parfaitement symétrique.

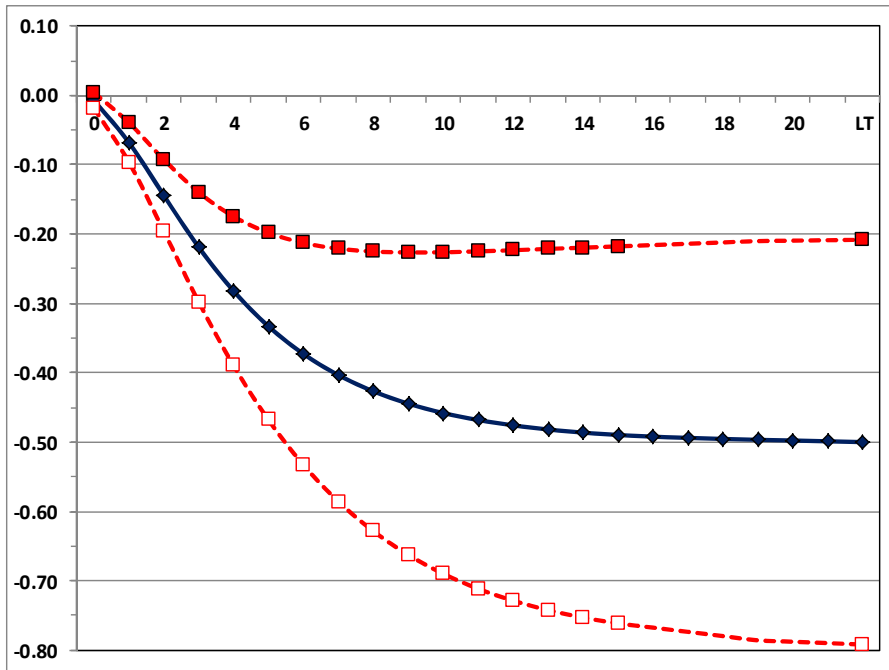
Graphique 9(a) : Effets d'une variation temporaire du coût de la recherche



En cas de choc temporaire, l'effet immédiat (au moment du choc) sur le capital recherche est quasiment nul. Il ne commence à être significatif que l'année suivante. Cela montre que les entreprises ne révisent pas immédiatement leurs projets de R&D au cours de l'année, mais qu'elles planifient ces dépenses de R&D avec un horizon d'une année. L'effet maximal de l'augmentation du coût de la recherche s'observe lors de la troisième année (en $t + 2$), même si cette augmentation a disparu et que le coût de la recherche soit revenu à son niveau initial. Par la suite, l'effet va s'estomper, mais très lentement, dans la suite. Mais il faudra attendre une quinzaine d'année pour que son effet soit quasiment indiscernable.

L'effet d'un choc permanent peut être considéré comme la succession de chocs temporaires. Ainsi on suppose que le coût de la recherche augmente à la période initiale, et reste à ce niveau par la suite. On a vu que, dans l'estimation de référence avec le coût de la recherche éligible pour la période récente 2008-2013, l'élasticité de long terme du capital recherche à son coût est de 0,50 (en valeur absolue). Le graphique 9(b) présente l'ajustement à ce nouvel équilibre de long terme. Comme le choc temporaire n'a quasiment aucun effet immédiat au moment de ce choc, on retrouve la même absence d'effet pour le choc permanent sur le coût de la recherche. Il faut attendre les années suivantes pour observer un effet significatif. La moitié de l'ajustement est obtenu plus de 3 ans après l'augmentation permanente du coût de la recherche. L'effet est de 0,30 après 4 ans et de 0,40 après 7 ans. On peut considérer encore une fois que cet ajustement est assez lent avec une convergence peu rapide vers le nouvel équilibre de long terme. Le graphique montre également la marge d'incertitude sur les effets avec un intervalle de confiance à 95 % assez large. A long terme, l'effet d'une hausse unitaire du coût de la recherche peut être compris entre 0,20 et 0,80, ce qui est assez imprécis. Nous analyserons dans la section suivante l'effet de la réforme du CIR qui a fortement réduit le coût de la recherche, et donc a eu un effet positif sur le capital recherche et sur la R&D des entreprises.

Graphique 9(b) : Effets d'une variation permanente du coût de la recherche



4. Effets d'une hausse du taux nominal du CIR

Dans cette section, on va étudier l'effet de la hausse du taux nominal du CIR de 2008 qui a entraîné une très forte baisse du coût de la recherche comme on l'a vu dans la section 2. Si on considère uniquement la partie du CIR en volume, le taux nominal du CIR est ainsi passé de 10 % à 30 %²⁴ des dépenses éligibles, sans compter la suppression du plafonnement du CIR.

Cette réforme de 2008 a impliqué une baisse très sensible du coût d'utilisation d'un euro de capital recherche par rapport au coût sans le CIR qui atteignait un sommet à 0,170 €. En moyenne, avec le CIR, ce coût passait à 0,063 € pour les dépenses éligibles au CIR, soit une baisse de 63 %.

En reprenant le coût de la recherche (3) sans tenir compte de l'imperfection des marchés de capitaux, une augmentation du taux nominal (γ) du CIR aura pour effet relatif sur le coût de la recherche :

$$\frac{\Delta c}{c} = -\frac{1}{1-\tau-\gamma} \Delta \gamma \quad (11)$$

Avec un taux de l'impôt sur les sociétés, $\tau = 33,3 \%$, une hausse de 20 points du taux nominal du CIR : $\Delta \gamma = 0,20$, on aura une baisse du coût de la recherche de 35 %. On va simuler cet effet sur le stock de capital recherche à partir de la régression préférée pour l'ensemble de l'échantillon sur la période récente 2008 – 2013 avec la définition du coût de la recherche éligible au CIR. Du fait que l'élasticité de long terme du capital recherche à son coût a été estimée à 0,50, le stock de capital recherche d'équilibre va augmenter de 17,7 %.

Dans la simulation présentée ci-dessous, on va supposer que le capital recherche initial (celui en 2007) est à son équilibre de long terme. Cette hypothèse implique que la R&D compense seulement la dépréciation de ce capital recherche, soit 15 % de celui-ci annuellement, du fait d'un taux de dépréciation du capital recherche de $\delta = 15 \%$ par an. En réalité, on peut supposer que le capital recherche observé en 2007 est inférieur à sa valeur d'équilibre. De ce fait, la R&D est supérieure à son niveau d'équilibre pour effectuer le rattrapage vers un niveau de capital recherche supérieur à celui observé. En partant d'une situation d'équilibre pour le capital recherche, on peut isoler l'effet propre de la réforme du CIR des autres évolutions des déterminants du coût de la recherche, de la croissance de la valeur ajoutée ou des changements dans le taux de marge des entreprises.

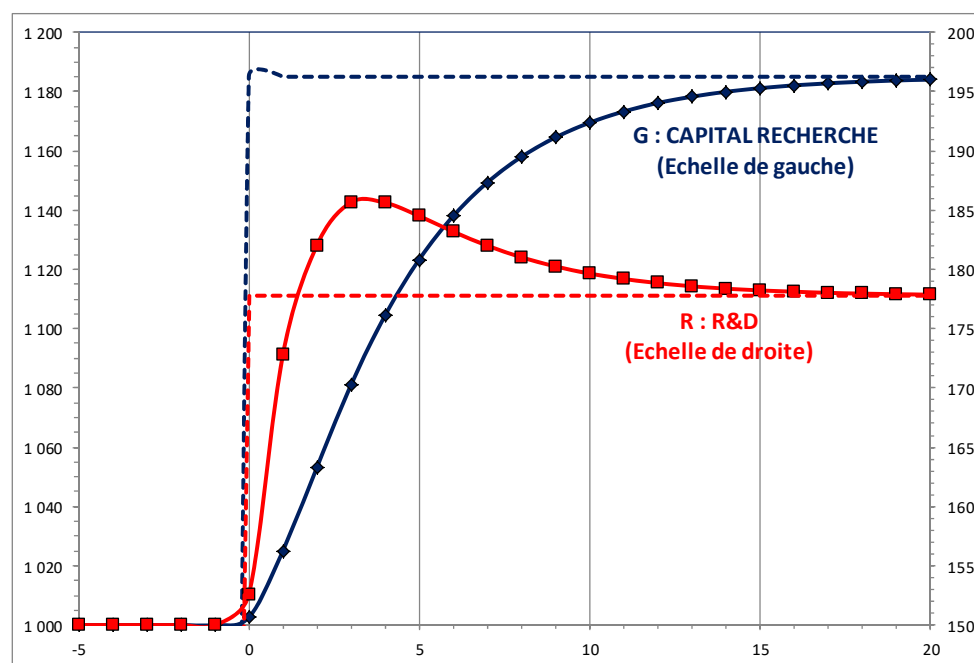
On considère ici l'ajustement dynamique du capital recherche à un nouvel équilibre supérieur de 17,7 % du fait de la baisse du coût de la recherche. La R&D est ensuite calculée en inversant l'équation d'accumulation du capital recherche :

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + R_t \quad \rightarrow \quad R_t = K_t - (1 - \delta)K_{t-1} \quad (12)$$

²⁴ On ne considère pas ici le deuxième taux nominal du CIR à 5 % pour la part des dépenses de R&D supérieure à 100 M€, qui ne touche qu'une vingtaine d'entreprises.

Dans le graphique 10, on suppose que l'entreprise « représentative » a un capital recherche initial (à l'équilibre) de $K_0 = 1000$ et une R&D initiale de $R_0 = \delta K_0 = 150$. Suite à la réforme du CIR, le capital recherche et la R&D d'équilibre de long terme augmentent de 17,7 %, soit $K^* = 1177$ et $R^* = \delta K^* = 176,5$. L'évolution du capital recherche correspond au profil dynamique vu précédemment dans le Graphique 9(b) avec un effet très faible à la période initiale, puis une accélération de l'augmentation du capital recherche jusqu'à 3 années après la réforme. Par la suite, l'augmentation du capital recherche se ralentit pour converger lentement vers l'équilibre de long terme. Le retard médian, qui correspond à la moitié de l'ajustement s'obtient 3 à 4 ans après la réforme, soit entre 2011 et 2012, toutes choses égales par ailleurs. Après un effet immédiat quasiment nul, la R&D augmente très fortement, au-dessus de son niveau d'équilibre, afin de permettre l'accumulation supplémentaire de capital recherche. L'augmentation maximale de la R&D s'obtient 3 à 4 ans après la réforme, soit également entre 2011 et 2012, pour ensuite se réduire et converger vers son niveau d'équilibre de long terme. Néanmoins on peut constater que l'effet de la réforme augmente nettement la R&D des entreprises, mais avec un effet assez lent qui perdure pendant de nombreuses années.

Graphique 10 : Effets d'une augmentation du taux nominal du CIR de 20 points



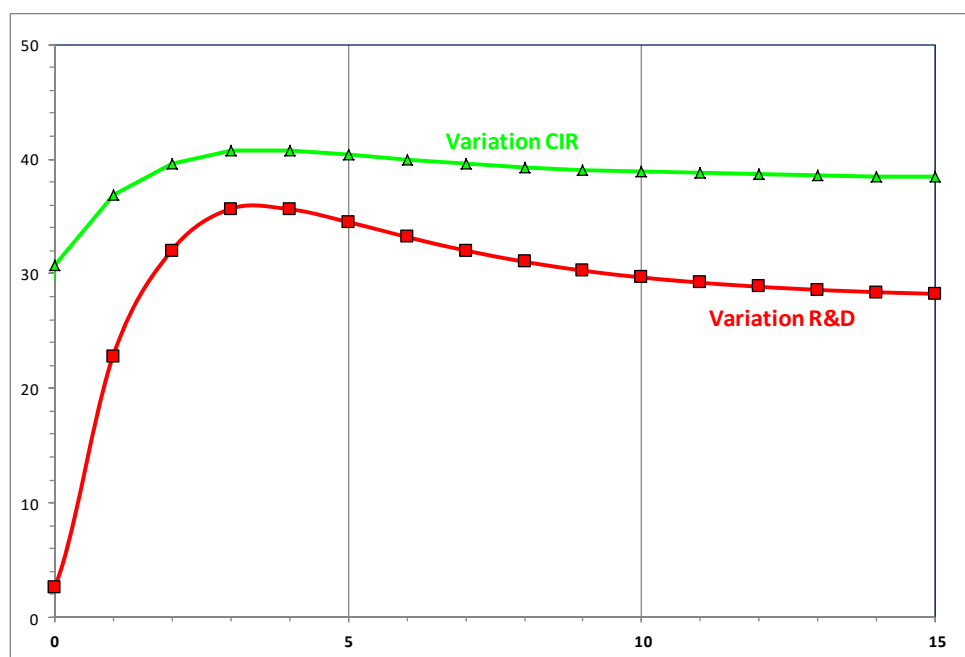
Note de lecture : Profil d'ajustement d'une entreprise représentative du capital recherche et des dépenses de R&D suite à un choc permanent sur le taux nominal du CIR de 20 points qui correspond à la réforme de 2008 (en ne considérant que le CIR en volume).

On suppose que l'entreprise a un capital recherche optimal de 1000 avant l'augmentation du taux du CIR, ce qui correspond à une R&D optimale de remplacement de 150.

Le graphique 11 présente la variation de la R&D et du CIR par rapport à la situation initiale avant la réforme. La différence de CIR est toujours supérieure à la différence de R&D tout au long du processus d'ajustement au nouvel équilibre de long terme. En effet, l'augmentation du CIR porte sur l'ensemble de la R&D effectuée par l'entreprise, et non pas seulement sur la différence de R&D par rapport à la situation initiale qui correspondrait à un CIR incrémental. Ainsi au moment de la

réforme, si la R&D augmente très peu (2,4 par rapport à la R&D initiale de 150), le CIR lui passe de 15 à 45,7 au cours de cette période. Après 3 ans, la différence de R&D atteint son niveau maximal (+ 34), alors que la différence du CIR est aussi la plus importante avec (+ 40). Cela implique que le coût budgétaire pour l'Etat du crédit d'impôt est toujours supérieur au surplus de R&D que les entreprises font suite à cette mesure.

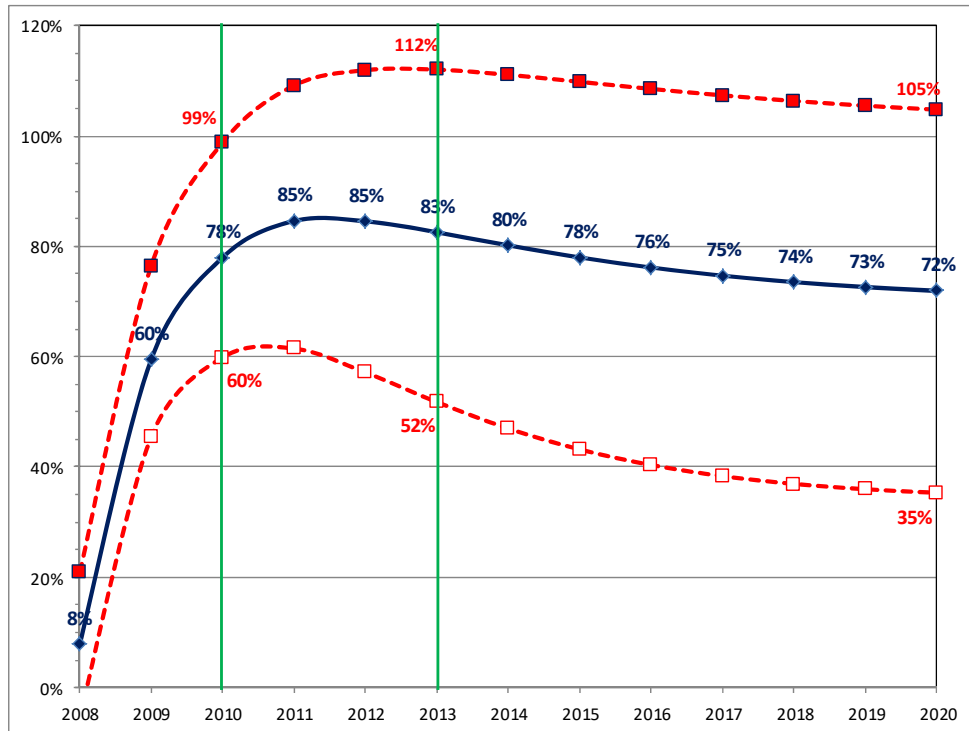
Graphique 11 : Variation de la R&D et du CIR suite à une augmentation du taux nominal du CIR de 20 points



Le ratio de la variation de R&D sur la variation du CIR peut être considéré comme un multiplicateur implicite du CIR, soit le montant de R&D additionnelle suite à un euro de CIR supplémentaire. Celui-ci n'est pas comparable à un multiplicateur keynésien traditionnel parce qu'on ne considère pas ici le bouclage macroéconomique du modèle, ni le mode de financement de la réforme du CIR au niveau de l'Etat. De même, la R&D d'une entreprise peut avoir des effets sur l'innovation des entreprises qui leur permet de gagner des parts de marchés ou d'améliorer leur compétitivité. De plus, la R&D peut aussi engendrer des externalités positives sur les fournisseurs ou les clients de l'entreprise.

L'évolution de ce multiplicateur implicite est présentée dans le Graphique 12 avec un intervalle de confiance à 95 % en pointillé. Comme l'effet immédiat sur la R&D est très faible, alors que l'augmentation du CIR est immédiate, ce multiplicateur implicite est très faible au moment de la réforme. Après un an, il atteint 62 % pour culminer à 88 % au cours de la 3^{ème} année après la réforme, soit en 2011. Par la suite, il se réduit légèrement pour converger à long terme vers une valeur de 70 %. Cependant au vu de l'intervalle de confiance qui provient de l'imprécision des estimations, on ne peut rejeter l'hypothèse qu'il serait unitaire, même si cette valeur semble peu probable. Ce multiplicateur implicite reste tout de même important du fait que la R&D des entreprises augmente fortement suite à la baisse de son coût.

Graphique 12 : Multiplicateur implicite du CIR



Note de lecture : Le multiplicateur implicite est le rapport entre la R&D additionnelle du fait d'une modification du taux nominal du CIR, sur le montant du CIR supplémentaire.
 On donne un intervalle de confiance à 95% en pointillés rouge. Cela signifie qu'il y a une probabilité de 95% que la vraie valeur de ce multiplicateur soit comprise dans cet intervalle. Ainsi en 2010 cet intervalle va de 60% à 99% et en 2013 de 52% à 112%.

5. Simulations de la réforme du CIR de 2008

Dans cette dernière section, nous allons considérer des simulations de la réforme du CIR en 2008 en nous plaçant dans le contexte macroéconomique global. On va ainsi prendre en compte l'évolution des autres composantes du coût de la R&D, de la valeur ajoutée nominale et du taux de marge des entreprises sur la période 2008 – 2016. En effet au-delà de la réforme du CIR de 2008, la crise de 2008-2009, ainsi que les fluctuations conjoncturelles, ont eu un effet sur la R&D, et donc le capital recherche des entreprises. Nous allons comparer le capital recherche et la R&D d'une entreprise après la réforme du CIR, avec sa situation hypothétique si la réforme du CIR n'avait pas eu lieu, en conservant l'hypothèse d'une entreprise représentative qui se trouvait à l'équilibre pour son capital recherche en 2007²⁵.

Plusieurs simulations ont été faites avec différentes hypothèses concernant l'évolution de la valeur ajoutée et du taux de marge, alors qu'on utilise le coût de la recherche moyen observé sur la période 2007 – 2013. En fait on retient uniquement un taux nominal du CIR en volume de 10 % pour le calcul du coût sans la réforme, et d'un taux nominal de 30 % par la suite. Au-delà de la période observée, on maintient le coût de la recherche à son niveau de 2013 pour les situations avec ou sans la réforme. En comparant les deux situations, on peut mesurer l'effet spécifique de la réforme du CIR sur le capital recherche, et donc la R&D de l'entreprise. Le Graphique 13 présente l'évolution observée dans nos données de 2007 à 2013 de la moyenne du coût de la recherche avec ou sans la réforme du CIR de 2008. Comme on l'a constaté dans la section 2, alors que le coût de la recherche a fortement baissé en 2008 suite à la réforme, le coût sans la réforme aurait augmenté, ce qui a creusé l'écart entre les deux situations et renforcé l'effet de cette réforme. Les modifications du système du CIR après 2008, notamment sur les frais généraux, a accru le coût de la recherche que ce soit avec l'ancien système qu'avec le nouveau système. L'écart entre les deux coûts s'est réduit à 4,9 centimes d'euros en moyenne en 2016, soit 36 %, alors qu'il a culminé à 6,6 centimes d'euros en 2008 (46 %).

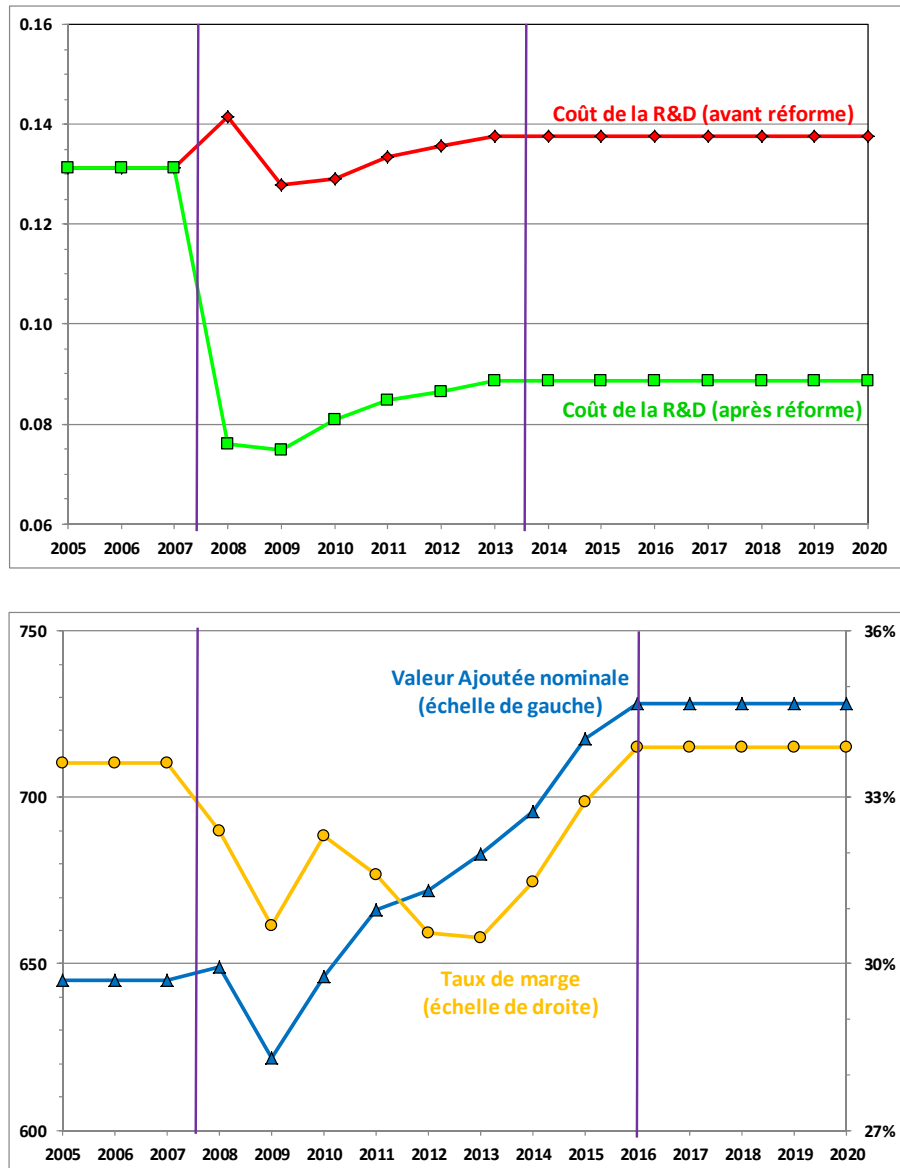
L'utilisation dans le modèle de différentes hypothèses sur la valeur ajoutée nominale et le taux de marge conduisent à différentes simulations. Dans un premier temps, on suppose que la valeur ajoutée nominale et le taux de marge sont restés stables à leur niveau de 2007. Une deuxième simulation a été faite en prenant les évolutions observées de la valeur ajoutée nominale et du taux de marge sur la période 2008 – 2015, calculées à partir des données macroéconomiques de l'INSEE pour les branches effectuant de la R&D²⁶. Par la suite, on suppose que la valeur ajoutée est constante à son niveau de 2015. La deuxième partie du Graphique 13 présente ces évolutions. Après la quasi-

²⁵ Cette hypothèse provient du fait que la valeur initiale du capital recherche dans notre modèle est fonction d'une constante multiplicative, qu'on ne peut estimer précisément.

²⁶ On a retenu les branches suivantes : Industries extractives, énergie, eau, gestion des déchets et dépollution (DE), Fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac (C1), Cokéfaction et raffinage (C2), Fabrication d'équipements électriques, électroniques, informatiques ; fabrication de machines (C3), Fabrication de matériels de transport (C4), Fabrication d'autres produits industriels (C5), Information et communication (JZ), Activités financières et d'assurance (KZ), Activités scientifiques et techniques ; services administratifs et de soutien (MN).

stabilité de la valeur ajoutée nominale en 2008 et sa forte baisse en 2009 du fait de la crise, celle-ci retrouve son niveau de 2007 en 2010. Par la suite elle augmente tendanciuellement d'environ 2 % par an en valeur jusqu'en 2015, avec une légère inflexion en 2012 suite au ralentissement conjoncturel de 2012. Dans la seconde simulation, la valeur ajoutée nominale est maintenue à son niveau de 2015 pour le reste de la période.

Graphique 13 : Variables exogènes de simulation



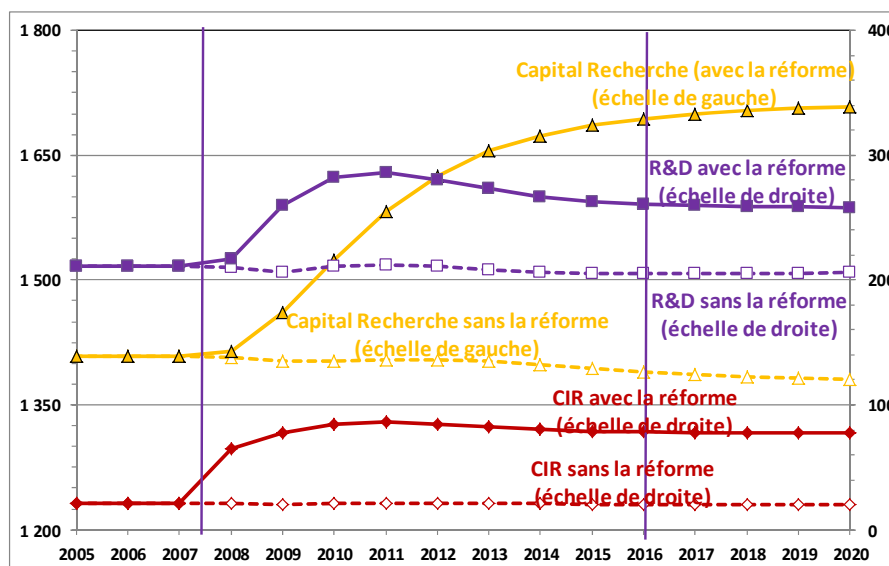
Le taux de marge suit une évolution parallèle à la valeur ajoutée avec une baisse pendant la crise de 2008 – 2009. Il rebondit en 2010, pour de nouveau chuter à un niveau historiquement bas en 2012 et 2013, il se redresse par la suite en 2014 et 2015 avec l'introduction du CICE pour revenir à son niveau antérieur à la crise. Dans la deuxième simulation, ce taux de marge est fixé à son niveau de 2015 par la suite, sans aucune hypothèse sur son évolution.

5.1 Simulation 1

La première simulation suppose que la valeur ajoutée nominale et le taux de marge sont constants à leurs niveaux de 2007, alors que l'on considère le coût de la recherche avec ou sans la réforme du CIR. On suppose encore ici que initialement le capital recherche de l'entreprise est à son niveau de long terme. Les résultats sont présentés dans les Graphiques 14(a) ci-dessous avec en trait plein la simulation avec la réforme du CIR, et en trait pointillé la simulation sans la réforme du CIR.

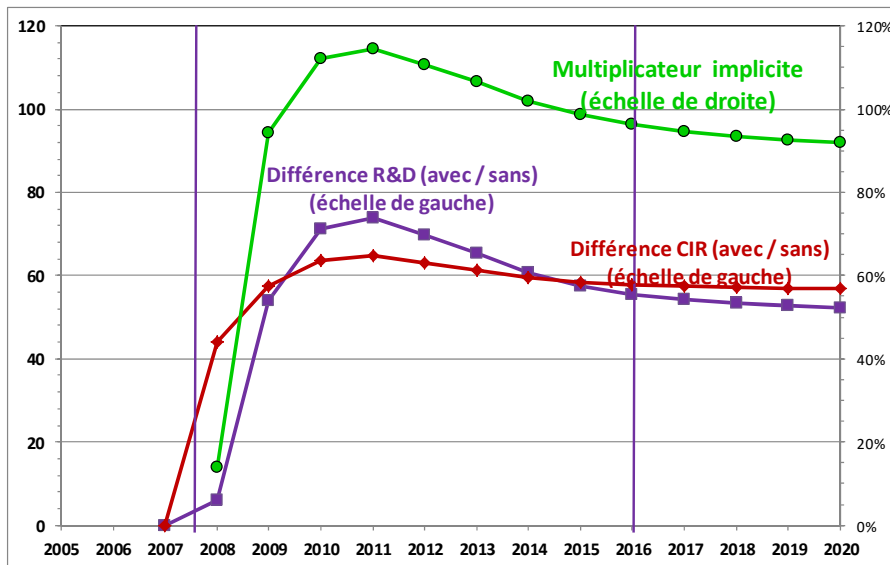
Seul le coût de la recherche évolue dans le temps. Ainsi on retrouve le profil d'ajustement dynamique de la section précédente avec un ajustement assez lent vers le nouvel équilibre de long terme pour le capital recherche qui correspond à un coût de la recherche plus faible. De même, on constate un sur-ajustement de la R&D qui dépasse le nouvel équilibre afin de permettre l'accumulation du capital recherche pendant cette phase de rattrapage.

**Graphique 14(a) : Simulation 1 –Capital Recherche, R&D, et CIR
(valeur ajoutée et taux de marge constants depuis 2008)**



Le Graphique 14(b) présente les différences entre les simulations sans et avec la réforme du CIR. La R&D augmente davantage avec la réforme du fait de la non-linéarité du modèle qui est spécifié en logarithme, alors que sont présentés ici les niveaux du capital recherche, de la R&D et du CIR. En 2013, la réforme du CIR fait baisser le coût de la recherche moyen de 36 % (de 13,76 à 8,86 centimes d'euros). Ce qui est conforme au calcul effectué dans la section précédente. Cependant, avec une élasticité-coût du capital recherche de $-0,50$, le capital recherche et la R&D d'équilibre vont augmenter de 25 % selon les simulations, contrairement à $18\% = 0,050 \times 36\%$ comme calculé précédemment. Cette différence provient de la non-linéarité de la transformation en logarithmes que nous utilisons pour les estimations.

Graphique 14(b) : Simulation 1 –Différence dans la R&D et le CIR, et multiplicateur implicite



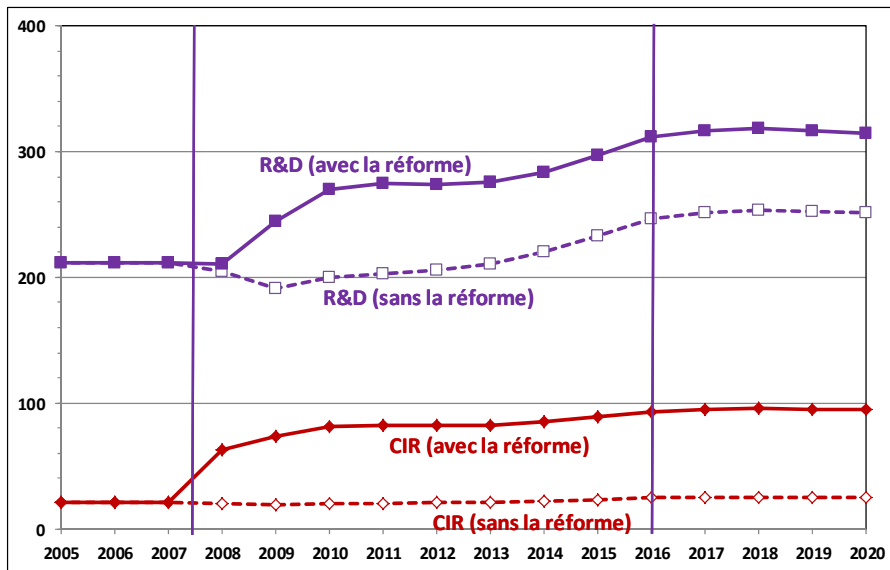
En conséquence, l’effet sur la R&D est plus important que calculé précédemment alors que le CIR n’augmente toujours que linéairement en proportion de la R&D. Ainsi le multiplicateur implicite du CIR est plus élevé avec une valeur à long terme de 0,90 contre 0,73 précédemment. De plus, ce multiplicateur implicite est supérieur à 1,00 entre 2010 et 2014, pendant la période où la R&D augmente fortement pour permettre l’accumulation du capital recherche.

5.2 Simulation 2

La deuxième simulation repose sur l’évolution de la valeur ajoutée nominale et du taux de marge constatés dans la comptabilité nationale (voir Graphique 13). Le Graphique 15(a) présente l’évolution de la R&D et du CIR avec et sans la réforme du CIR. La baisse de la valeur ajoutée nominale en 2008 et surtout en 2009 aurait eu un effet négatif sur la R&D des entreprises, alors que la réforme du CIR de 2008 a permis de contre-balancer cette diminution. Alors que sans la réforme, la R&D aurait chuté de 10 % par rapport à 2007, la réforme du CIR a permis une augmentation de la R&D de 16 % en 2009, toujours par rapport à 2007.

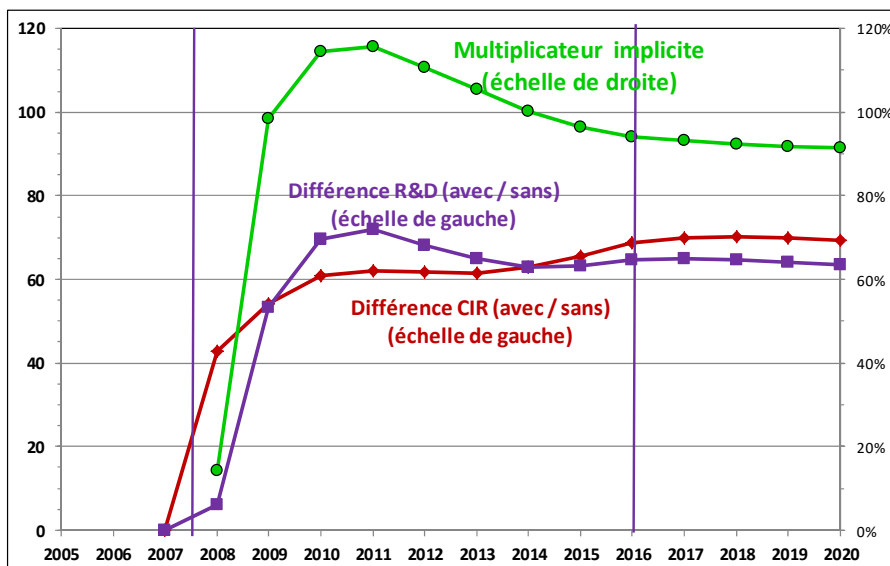
Par la suite, la R&D a fortement augmenté en 2010 (+10 %) suite à la réforme du CIR, mais s’est stabilisé par la suite. En fait on constate à partir de 2010 que le coût de la recherche a augmenté assez sensiblement du fait que la part forfaitaire des frais généraux est passée de 75 % à 50 % de la masse salariale, réduisant le taux d’éligibilité des dépenses de R&D au CIR.

Graphique 15(a) : Simulation 2 – R&D et CIR (valeur ajoutée et taux de marge observés entre 2007 et 2015, constants depuis 2016)



Si la valeur ajoutée et le taux de marge étaient restés constantes à leur niveau de 2007, la réforme du CIR aurait augmenté la R&D de + 50 (soit + 23 %) entre 2007 et 2016 pour l'entreprise représentative considérée. En appliquant les évolutions moyennes constatées de la valeur ajoutée et le taux de marge (sur la période 2008-2016) ont permis une augmentation supplémentaire de la R&D de + 50 entre 2007 et 2016. Ainsi la moitié de la hausse de la R&D constatée entre 2007 et 2016 peut être mise au crédit de la réforme du CIR.

Graphique 15(b) : Simulation 2 – Différence dans la R&D et le CIR, et multiplicateur implicite



Enfin la comparaison des différences de R&D et de CIR avec ou sans la réforme dans le Graphique 15(b) montre le même profil pour le multiplicateur implicite du CIR que dans la première simulation, avec une valeur légèrement plus élevée en 2008 et 2009 du fait que la réforme du CIR a empêché la baisse de la R&D suite à la baisse de la valeur ajoutée et à la dégradation du taux de marge au cours de cette période de crise. A long terme, ce multiplicateur implicite de 0,90 est encore assez proche de l'unité.

En conclusion de ces simulations, on peut remarquer qu'au moment de l'introduction de la réforme en 2008, la R&D totale des entreprises n'a pas augmenté alors que, sans la réforme, elle aurait légèrement diminué du fait de la baisse de la valeur ajoutée nominale et du taux de marge. Alors que cette diminution s'accroissait en 2009, la réforme, en baissant le coût de la recherche a permis à aux entreprises de l'augmenter sensiblement. La différence est de 25 % par rapport à son niveau de 2007.

L'effet de la réforme augmente en 2010 et 2011 parce que son effet se décale dans le temps. Il atteint environ 33 % du niveau de la R&D de 2007. Mais alors que la R&D hypothétique -s'il n'y avait pas eu la réforme- augmente régulièrement depuis 2010, les modifications de la réglementation du CIR (surtout concernant la comptabilisation des frais généraux) ont eu pour effet de faire stagner la R&D des entreprises entre 2011 et 2013, malgré la reprise de la croissance de la valeur ajoutée. Sans la réforme du CIR, la R&D des entreprises pérennes n'aurait retrouvé son niveau initial, en termes réels, qu'en 2013. L'effet de la réforme du CIR se stabilise autour de 30 % d'augmentation de la R&D par rapport au niveau de 2007 pour les entreprises pérennes, ce qui est loin d'être un effet négligeable. La réforme a donc eu un effet important à court terme, mais aussi à long terme, que l'on peut estimer à une 30 % du niveau de 2007 de la R&D. Si on considère la différence entre la R&D avec la réforme et la R&D hypothétique sans la réforme, l'augmentation de la R&D due à cette réforme culmine à 35 % en 2010 et 2011 pour ensuite se réduire à environ 25 %. On peut penser que sans la réforme du CIR, la R&D des entreprises pérennes serait aujourd'hui d'environ 20 % inférieure à ce que l'on peut calculer.

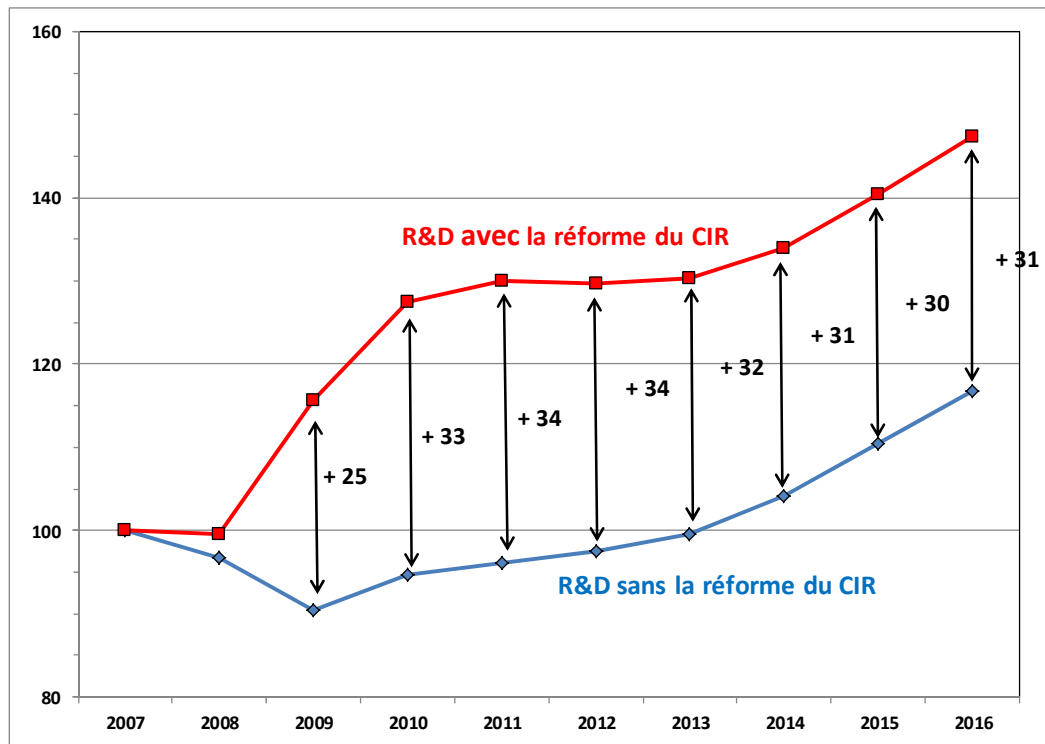
Dans le Graphique 16, la R&D a été normalisée à l'indice 100 en 2007. On peut considérer que cela représente l'évolution agrégée de la R&D pour les entreprises pérennes. En effet, comme cette simulation est effectuée à partir de l'estimation du modèle, elle ne concerne que les entreprises avec au moins 5 années consécutives de R&D.

En 2008, au moment de l'introduction de la réforme, la R&D totale des entreprises n'a pas augmenté alors que, sans la réforme, elle aurait légèrement diminué du fait de la baisse de la valeur ajoutée nominale et du taux de marge. Alors que cette diminution s'accroissait en 2009, la réforme, en baissant le coût de la recherche a permis à aux entreprises de l'augmenter sensiblement. La différence est de 25 % par rapport à son niveau de 2007.

L'effet de la réforme augmente en 2010 et 2011 parce que son effet se décale dans le temps. Il atteint environ 33 % du niveau de la R&D de 2007. Mais alors que la R&D hypothétique -s'il n'y avait pas eu la réforme- augmente régulièrement depuis 2010, les modifications de la réglementation du CIR (surtout concernant la comptabilisation des frais généraux) ont eu pour effet de faire stagner la R&D des entreprises entre 2011 et 2013, malgré la reprise de la croissance de la valeur ajoutée. Sans la réforme du CIR, la R&D des entreprises pérennes n'aurait retrouvé son niveau initial, en termes réels, qu'en 2013. L'effet de la réforme du CIR se stabilise autour de 30 % d'augmentation de la R&D

par rapport au niveau de 2007 pour les entreprises pérennes, ce qui est loin d'être un effet négligeable. La réforme a donc eu un effet important à court terme, mais aussi à long terme, que l'on peut estimer à une 30 % du niveau de 2007 de la R&D. Si on considère la différence entre la R&D avec la réforme et la R&D hypothétique sans la réforme, l'augmentation de la R&D due à cette réforme culmine à 35 % en 2010 et 2011 pour ensuite se réduire à environ 25 %. On peut penser que sans la réforme du CIR, la R&D des entreprises pérennes serait aujourd'hui d'environ 20 % inférieure à ce qu'elle est actuellement.

Graphique 16 : Estimation de la R&D avec et sans la réforme du CIR



Note de lecture : Estimation de la R&D des entreprises avec une activité de R&D avec la réforme du CIR et sans cette réforme en gardant les paramètres du CIR de 2007. Les autres déterminants de la R&D suivent leur évolution macroéconomique moyenne. Cette R&D a été normalisée à 100 en 2007, pour suivre son évolution en termes réels. En 2013, s'il n'y avait pas eu de réforme du CIR, la R&D aurait retrouvé son niveau de 2007 avant la crise. En revanche avec la réforme du CIR, celle-ci atteint un niveau de 134, soit 34% de plus que sans la réforme.

Conclusion

Cette étude prolonge la précédente étude d'évaluation ex-ante de la réforme du CIR que nous avons réalisée. Avec la disponibilité des données postérieures à 2007, on a pu ré-estimer le même modèle afin d'effectuer une évaluation ex-post de la réforme du CIR avec une modélisation structurelle de la demande de R&D des entreprises. Cependant cette méthode, qui permet d'appréhender la dynamique de l'ajustement, nécessite que l'on ne puisse conserver dans l'échantillon que les entreprises qui ont une activité de R&D permanente au cours d'au moins 5 années consécutives.

Nous avons également modifié le calcul du coût de la recherche en essayant de prendre en compte le calcul de la R&D éligible au CIR. Pour cela, on utilise la structure des dépenses de R&D de l'enquête du MESRI et on applique au mieux les règles fiscales. Cela nous permet de mesurer un taux d'éligibilité des dépenses de R&D au CIR qui diffère assez fortement d'une entreprise à l'autre et dans le temps. De plus, ce nouveau calcul du coût de la recherche permet d'évaluer la baisse des frais généraux (de 75% à 50% de la masse salariale du personnel de recherche) qui a eu un effet non négligeable.

En moyenne, suite à la réforme de 2008 du CIR, le coût réel de la recherche a baissé de 46% en 2008 compte tenu du système fiscal français. Cependant les modifications de la législation depuis la réforme, a augmenté ce coût réel de 7,6 € pour 100 € de capital recherche en 2008, à 8,9 € en 2013, soit une hausse de 17 % qui a atténué l'effet initial de la réforme. Cette hausse provient principalement de la baisse du taux d'éligibilité des dépenses au CIR évoquée ci-dessus.

Les estimations faites sur la période postérieure à la réforme : de 2008 à 2013, ont conduit de retenir une élasticité-coût à long terme du capital recherche de 0,50, laquelle implique qu'une diminution de 10 % du coût de la recherche, se traduit par une augmentation du capital recherche et de l'investissement en R&D de 5 %, à l'équilibre de long terme. Nous estimons aussi une vitesse d'ajustement dynamique à ce nouvel équilibre qui peut paraître lente. Celui-ci est réalisé à 50% après 3 à 4 années, et à 90 % au bout de 9 années.

Une simulation a été réalisée pour estimer l'effet de la réforme du CIR en comparant le niveau du capital recherche et de la R&D avec cette réforme et si elle n'avait pas eu lieu, c'est-à-dire si le système mixte, incrémental et en volume, avec des taux plus faibles et un plafonnement du CIR, avait perduré. Cette simulation permet aussi de prendre en compte l'évolution moyenne constatée de la demande (mesurée par la valeur ajoutée nominale) et celle de la rentabilité de l'entreprise (mesurée par le taux de marge). Elle permet aussi de comparer ces évolutions et de les rapporter à celles du coût de la réforme dans les deux hypothèses, c'est-à-dire d'évaluer le multiplicateur implicite du CIR.

La réforme du CIR a permis une réduction drastique du coût de la recherche pour toutes les entreprises. Mais l'effet immédiat sur la R&D a été très faible, alors que l'augmentation du CIR est immédiate, ce multiplicateur implicite est très petit l'année de la réforme. Après un an, il atteint cependant 98 % pour culminer à 116 % en 2011. Par la suite, il se réduit légèrement pour converger à long terme vers une valeur de 88 %. Cependant au vu de l'intervalle de confiance qui provient de l'imprécision des estimations, on ne peut rejeter l'hypothèse qu'il serait unitaire. Ce multiplicateur

implicite reste tout de même important du fait que la R&D des entreprises augmente fortement suite à la baisse de son coût

Cependant ce multiplicateur implicite du CIR n'est pas comparable à un multiplicateur keynésien traditionnel parce qu'on ne considère pas ici le bouclage macroéconomique du modèle, ni le mode de financement de la réforme du CIR au niveau de l'Etat. De même, la R&D d'une entreprise peut avoir des effets sur l'innovation des entreprises qui leur permet de gagner des parts de marchés ou d'améliorer leur compétitivité. De plus, la R&D peut aussi engendrer des externalités positives sur les fournisseurs ou les clients de l'entreprise.

Finalement l'estimation de la réforme du CIR dans notre simulation, montre que celle-ci a eu un effet important à court terme, mais aussi à long terme. Alors que sans la réforme, la R&D aurait chuté de 10 % par rapport à 2007, la réforme du CIR a permis une augmentation de la R&D de 16 % en 2009, toujours par rapport à 2007. Si on considère l'écart entre la R&D avec la réforme et la R&D hypothétique sans la réforme, l'augmentation de la R&D due à cette réforme culmine à 35 % en 2010 et 2011 pour ensuite se réduire à environ 25 %. D'après les simulations, on peut estimer que la R&D des entreprises pérennes est aujourd'hui d'environ 25 % supérieure à ce qu'elle serait s'il n'y avait pas eu de réforme du CIR.

Cette étude d'évaluation de la réforme du CIR, à partir d'une explication structurelle du comportement des entreprises, doit être prolongée parce que la méthode d'estimation ne prend pas en compte les entreprises qui débutent une activité de R&D suite à une plus grande générosité du CIR²⁷. Cette part des entreprises qui demandent désormais le CIR est importante au vu de l'augmentation du nombre de déclarants au CIR depuis 2008. Il faut donc étendre l'analyse à ces entreprises qui commencent une activité de R&D. Cela devrait également permettre de mesurer le coût fixe pour l'entreprise d'une activité de R&D et non pas seulement un coût variable constant comme on le fait dans cette étude.

De plus, on peut s'interroger sur la déclaration au CIR des activités de R&D par rapport à la mesure de la R&D provenant des enquêtes R&D que nous utilisons ici. Cet aspect réclame qu'un travail d'appariement des données de l'enquête R&D avec la base de gestion du CIR (GECIR) du MESRI soit effectué. Cela permettrait d'évaluer le taux de recours au CIR des entreprises, ainsi que le coût administratif pour l'entreprise d'une demande de crédit d'impôt recherche.

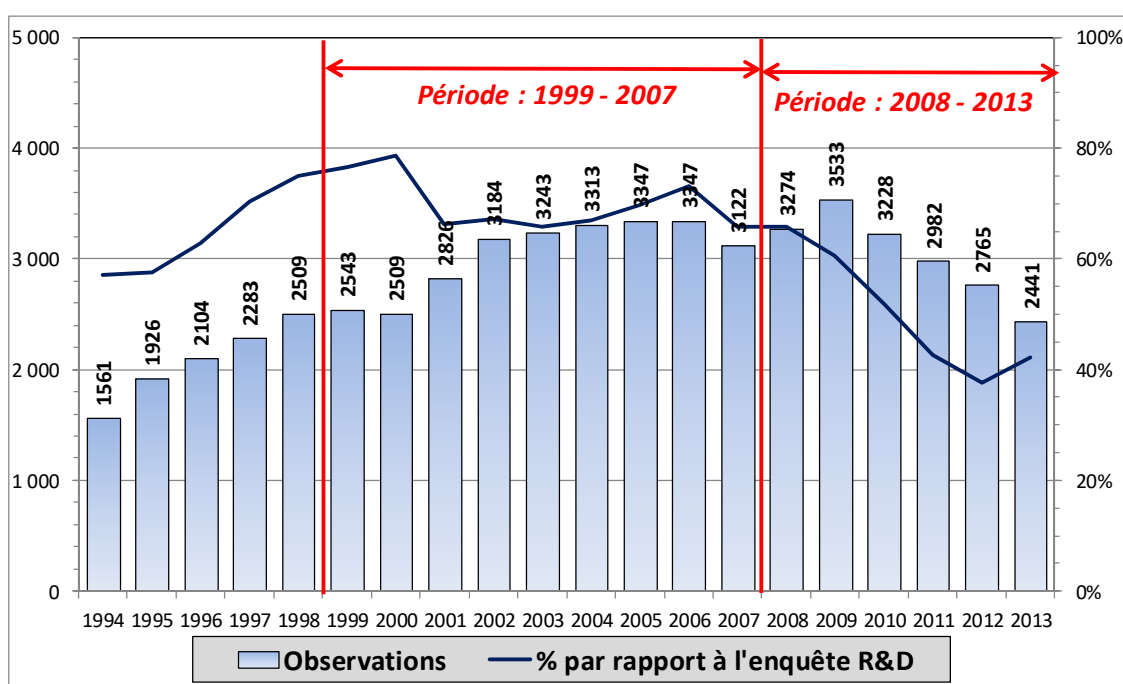
Finalement un approfondissement de la distinction entre les branches d'activités et entre les tailles d'entreprises devrait être mené pour prendre en compte l'hétérogénéité des comportements des entreprises selon leurs activités et les conditions technologiques ou concurrentielles de leur marché ou selon leur organisation.

²⁷ On ne tient pas compte également des entreprises qui arrêtent leurs activités de R&D pour diverses raisons.

Annexe 1 : Description des données

Les données utilisées dans cette étude proviennent des comptes et bilans des entreprises de la base FICUS-FARE mise à disposition par le CASD pour la période 1994-2013. Elles ont été appariées avec les données de l'enquête R&D du MESRI. Contrairement à d'autres études sur le CIR, nous n'avons pas eu accès aux données de gestion du CIR (Base GECIR) du MESRI pour les appairer à nos données. Après élimination des observations comptables extrêmes, on a conservé les données appariées pour les entreprises avec 5 observations consécutives que ce soit pour les données comptables ou de R&D. Cela implique que nous ne conservons les entreprises qu'avec une R&D strictement positive sur 5 années consécutives, et que nous éliminons ainsi des entreprises qui font de la R&D sur une période plus courte. Il en résulte une base de données initiale de 56 040 observations pour 6 270 entreprises sur la période 1994 – 2013, dont le profil est donné dans le Graphique A1.

Graphique A1 : Nombre d'observations retenues dans l'étude

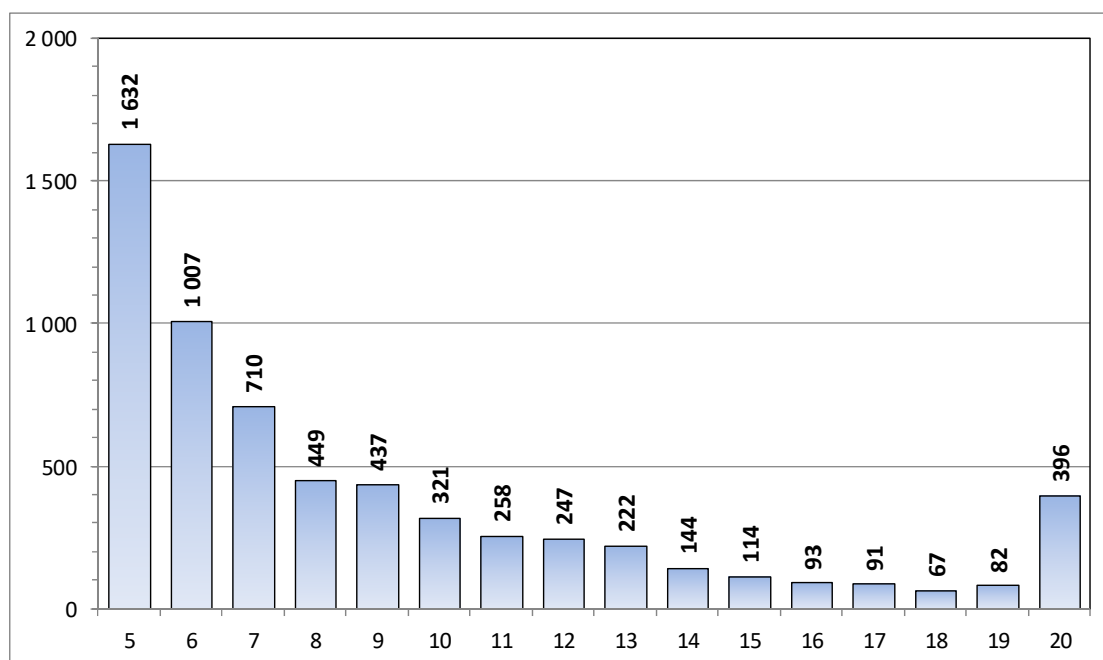


Pour les estimations du modèle, nous avons retenu deux sous-périodes d'observations : la première correspond à la période avant la réforme du CIR de 2008 : de 1999 à 2007 avec 16 496 observations pour 4 037 entreprises. Il est à noter que cela implique d'avoir les données pour les 4 années précédentes pour chaque entreprise. Au cours de cette première sous-période, on avait un système purement incrémental du CIR entre 1999 et 2003, et un système mixte (incrémental et volume) entre 2004 et 2007. Cependant on ne peut pas distinguer dans les estimations les deux parties de cette première période, du fait d'un manque d'observations dans les échantillons. L'effet de la réforme du CIR est considéré dans la seconde sous-période qui débute au moment de celle-ci en 2008. Nous conservons également les données pour les 4 années précédentes, même avant 2008.

Ce second sous-échantillon comporte 12 903 observations pour 3 767 entreprises. On peut noter que certaines entreprises peuvent se trouver dans les deux sous-échantillons.

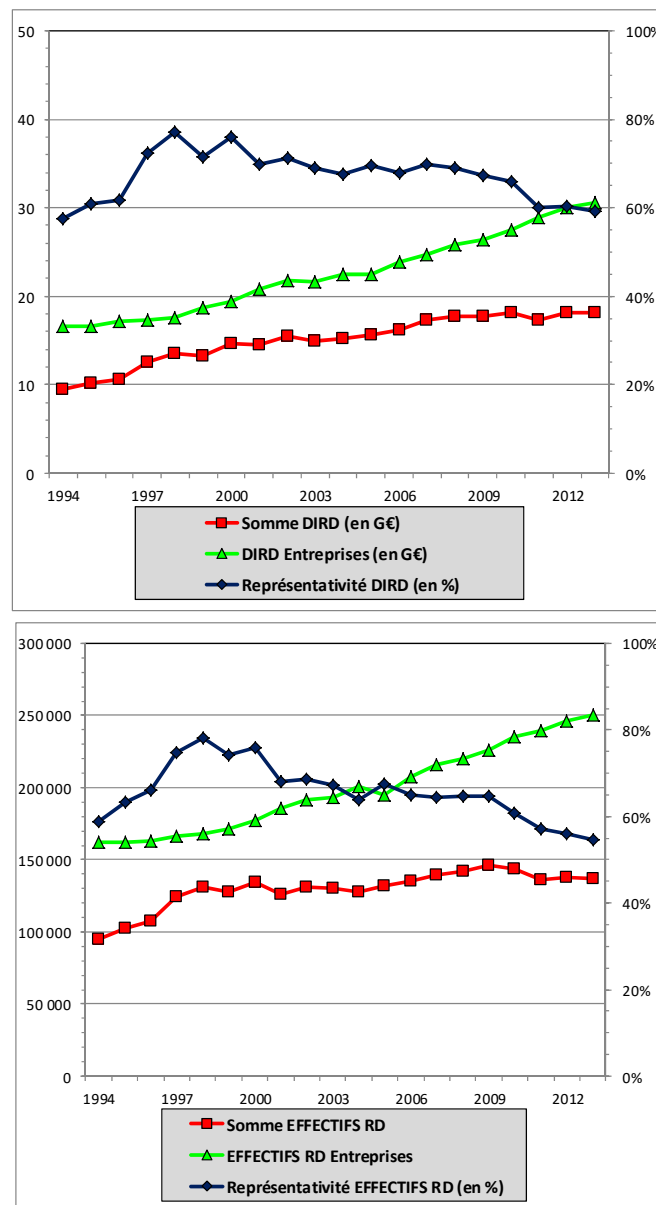
Du fait de la nature de l'enquête R&D, qui est exhaustive pour les entreprises qui font beaucoup de R&D, alors qu'elle est échantillonnée pour les plus petites, le nombre d'observations par entreprise décroît de manière exponentielle comme indiqué dans le graphique A2. On constate aussi que presque 400 entreprises (6.3% des entreprises, mais 14,1% des observations) sont observées continuellement sur l'ensemble des 20 années d'observations. Elles font toujours de la R&D sur cette période et n'ont pas été affectées par un changement de statut (changement d'identifiant SIRENE) ou des restructurations importantes.

Graphique A2 : Nombre d'observations par entreprise (1994-2003)



L'échantillon initial de 6 270 entreprises représente en moyenne sur la période deux tiers de la R&D française comme l'indique les deux graphiques A3. Pour être plus précis, sur la période 1994 – 2013, les entreprises de l'échantillon effectuent 67,2 % de la DIRD de la France (selon les statistiques du MESRI), et 65,7 % des effectifs de R&D en France. On atteint même un maximum en 1998 avec 77 % de la DIRD et 78 % des effectifs dans notre échantillon. Par la suite la représentativité de l'échantillon diminue progressivement tout en restant au-dessus de 66 % de la DIRD agrégée jusqu'en 2010. Il y a ensuite un décrochage pour les trois dernières années avec une représentativité tournant autour de 60 % de la DIRD. De même pour les effectifs de R&D, les entreprises de l'échantillon représentent entre 65 % et 68 % des effectifs totaux de R&D, mais la rupture commence en 2009 pour ceux-ci avec une baisse de 10 points de la représentativité au cours des 4 dernières années.

Graphique A3 : Représentativité de l'échantillon (DIRD et effectifs de R&D)



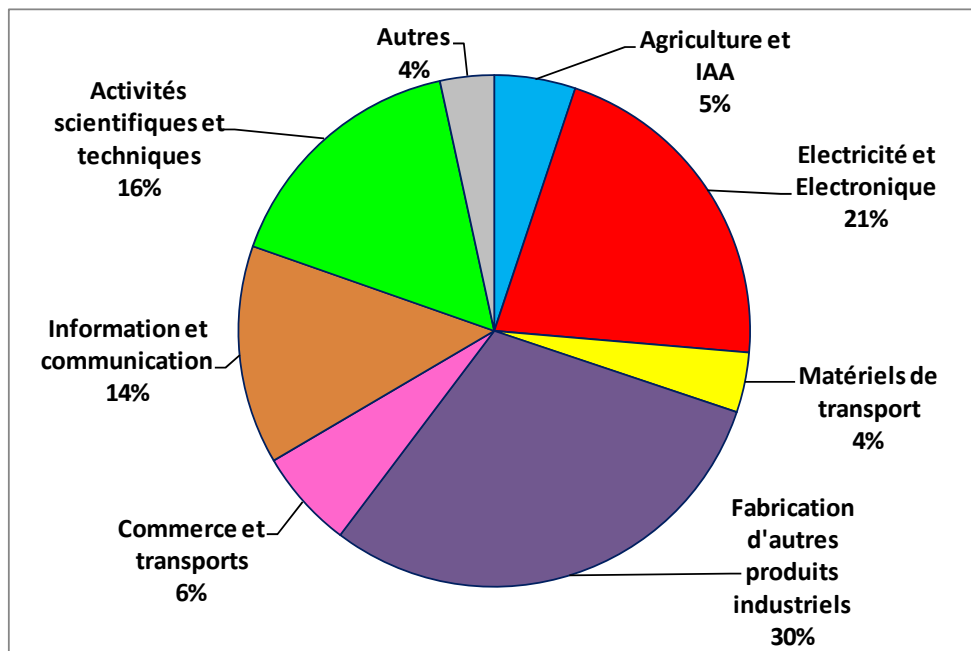
On peut expliquer cette chute de la représentativité en fin de période du fait de la règle de ne conserver que les entreprises avec au moins 5 années de R&D consécutives. Ce qui mécaniquement exclut les entreprises nouvelles ou qui débute une activité de R&D après 2009, alors qu'on continue à perdre les entreprises qui arrêtent leur R&D, qui ne sont plus échantillonnées, ou qui disparaissent purement et simplement.

La répartition sectorielle des entreprises est donnée dans le graphique A4 et dans le tableau A1. Le graphique présente une répartition sectorielle agrégée en 8 secteurs d'activité afin d'éviter les secteurs de la nomenclature agrégée en 17 secteurs (NA 17) dans laquelle certains secteurs sont extrêmement peu présents dans l'échantillon : par exemple l'Agriculture la Sylviculture et la Pêche (AZ) pour lequel on a seulement 5 entreprises. L'industrie manufacturière (y compris la construction) représente 62,4 % des entreprises de l'échantillon, contre 37,6 % pour les services pris dans un sens très large (y compris le transport, la logistique et le commerce). De plus, les entreprises

manufacturières sont plus longtemps présentes dans l'échantillon avec 9,5 observations par entreprises, alors qu'il y a en moyenne 8,1 observations par entreprises dans les services.

Dans l'industrie manufacturière, les secteurs les plus représentés sont les autres produits industriels (C5) ou les machines et équipements électriques et électroniques (C3) avec principalement la fabrication produits informatiques, électroniques et optiques, alors que dans les services, les entreprises appartiennent principalement aux secteurs des services aux entreprises (MN) et principalement aux activités d'ingénierie, de contrôle et d'analyses techniques ; ainsi qu'aux secteurs de l'information et de la communication (JZ).

Graphique A4 : Répartition sectorielle des entreprises²⁸



²⁸ Dans ce graphique, les autres secteurs comprennent : la cokéfaction et raffinage (C2), les industries extractives, la production d'énergie et d'eau (DE), la construction (FZ), les activités financières et d'assurance (KZ), les activités immobilières (LZ), l'administration publique, la santé et l'éducation (OQ) ainsi que les autres activités de services (RU).

Tableau A1 : Répartition sectorielle et médianes de l'intensité de R&D (R&D par emploi mesurée en milliers d'euros)

Secteur	Obs	Entr	Obs./Entr.	RD/CA	RD/EMPLOI
AZ Agriculture, sylviculture et pêche	42	5	8.40	5.8%	6.2
C1 Alimentation, boissons, et tabac	2 813	317	8.87	1.6%	4.7
C2 Cokéfaction et raffinage	47	6	7.83	4.8%	8.0
C3 Machines, équipements électriques et électroniques	12 978	1 330	9.76	3.2%	6.0
C4 Matériels de transport	2 492	238	10.47	3.0%	5.4
C5 Autres produits industriels	17 585	1 890	9.30	1.4%	2.5
DE Industries extractives, énergie, eau	319	40	7.98	0.7%	2.0
FZ Construction	749	84	8.92	1.2%	1.9
INDUSTRIES MANUFACTURIERES	37 025	3 910	9.47	3.2%	5.7
GZ Commerce	3 185	386	8.25	3.3%	11.6
HZ Transports et entreposage	64	6	10.67	0.2%	0.2
JZ Information et communication	6 653	867	7.67	21.3%	24.0
KZ Activités financières et d'assurance	115	17	6.76	1.8%	4.8
LZ Activités immobilières	188	28	6.71	5.1%	5.7
MN Services aux entreprises	8 481	1 017	8.34	26.1%	30.4
OQ Administration publique, Santé, Education	142	16	8.88	14.3%	19.5
RU Autres activités de services	187	23	8.13	29.4%	25.3
SERVICES	19 015	2 360	8.06	17.3%	22.2
ENSEMBLE	56 040	6 270	8.94	5.1%	9.2

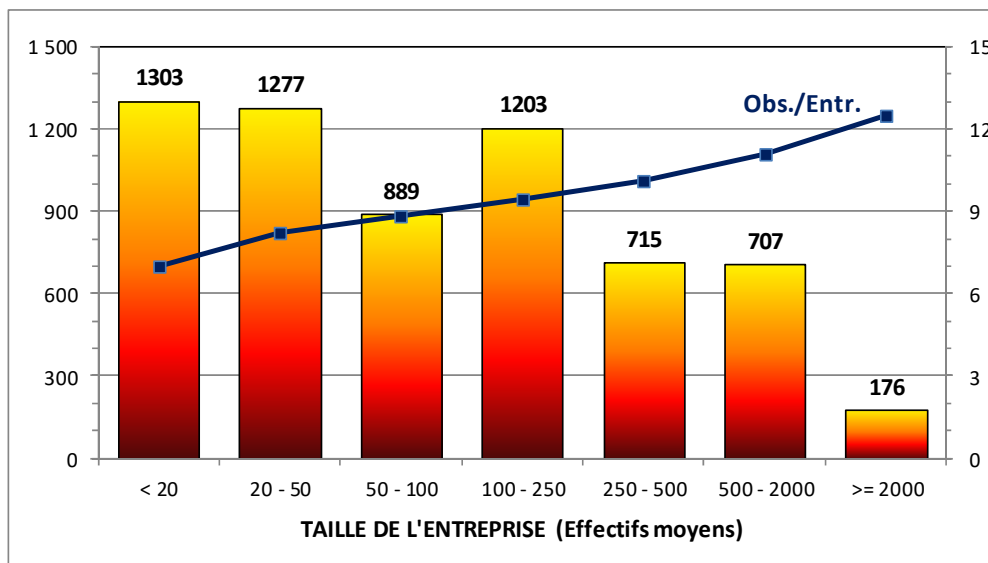
Le Tableau A1 donne également les médianes sur toutes les observations du secteur de l'intensité de R&D (R&D totale sur le chiffre d'affaires de l'entreprise), et de la R&D par emploi dans l'entreprise. Sur la période de l'étude, la R&D représente 5,1 % du chiffre d'affaires des entreprises de l'échantillon. Leurs dépenses médianes s'élèvent à 9 200 euros par emploi. Rappelons encore que l'échantillon est composé d'entreprises qui ont une activité de R&D assez stable sur au moins 5 années consécutives.

Cependant ces statistiques sur l'ensemble de l'échantillon cachent des très grandes disparités selon les secteurs d'activités : les entreprises de l'industrie manufacturière (y compris la construction) ont une intensité médiane de R&D de 3,2 %, alors que cette intensité est beaucoup plus élevée dans les entreprises des services avec 17,3 %. Cela est dû au fait qu'il y a une sur-représentation des entreprises spécialisées dans les hautes technologies dans les services avec des intensités de R&D très élevées : 26,9% pour les services aux entreprises (MN), 21,3 % pour l'information et la communication (JZ) ou 29,4 % pour les autres activités de services (RU). En revanche dans l'industrie manufacturière, l'intensité de R&D n'est supérieure à l'ensemble de ces secteurs que dans des secteurs spécifiques avec peu d'entreprises : l'agriculture, sylviculture et pêche avec 5,8 %, ou la cokéfaction et raffinage avec 4,8 %. En revanche, si on considère une classification sectorielle plus détaillée (NA38), on peut remarquer une intensité médiane de R&D assez élevée dans les secteurs de la fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques(CI) : 11,4 % l'industrie pharmaceutique (CF) : 6.7 %, les autres industries manufacturières (CM) : 5.1 %, la fabrication d'équipements électriques (CJ) : 3.6 %, l'industrie chimique (CE) : 3.5 %, ou la fabrication de matériels de transport (CL) : 3.2 %.

Les résultats sont identiques si on prend comme mesure de l'activité de R&D, celle-ci mesurée par salarié de l'entreprise. Si pour l'ensemble de l'échantillon, la dépense médiane par salarié est de 9 200 euros, elle s'élève à 22 200 euros dans les services contre 5 700 euros dans l'industrie manufacturière. On remarque encore ici les mêmes secteurs avec une très forte activité de R&D par salarié. Il semble donc que dans certains secteurs, principalement dans les services, les entreprises de l'échantillon soient actives dans la R&D et les hautes technologies du fait d'une activité très spécifique.

Nous avons enfin étudié la répartition des entreprises de l'échantillon par classes de taille. Nous avons choisi 7 classes de taille : la première concerne les très petites entreprises avec moins de 20 salariés avec 20.8 % des entreprises de l'échantillon initial. Ensuite les PME sont classées dans 3 classes uniquement selon leur emploi moyen : entre 20 et 50 salariés (18.8 %), entre 50 et 100 salariés (14.0 %), et entre 100 et 250 salariés (20.3 %). Ainsi les PME représentent la majorité de l'échantillon avec 53 % des entreprises. Enfin nous avons aussi 3 classes pour les grandes entreprises : entre 250 et 500 salariés (12.9 %), entre 500 et 2 000 salariés (14.0 %), soit 27 % des entreprises de taille intermédiaire, et enfin les entreprises de plus de 2 000 salariés qui sont très peu nombreuses avec seulement 3.9 % des entreprises de l'échantillon. Le Graphique A4 donne la répartition des entreprises dans ces classes de taille, ainsi que le nombre d'observations par entreprises qui croît régulièrement selon la taille de l'entreprise allant de 7 observation par entreprise pour les moins de 20 salariés, à 12.5 observations par entreprises pour les plus grandes.

Graphique A5 : Répartition par classe de taille des entreprises

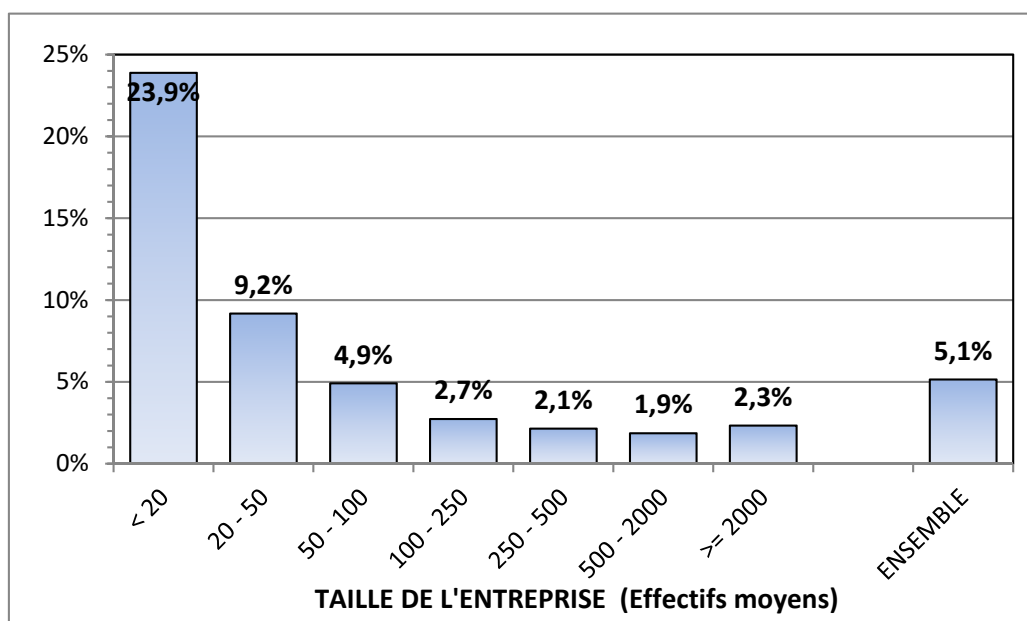


Le Graphique A6 montre clairement que l'intensité de R&D, mesurée par le ratio de la R&D totale sur le chiffre d'affaires²⁹, décroît en fonction de la taille de l'entreprise. Seules les très grandes entreprises de plus de 2 000 salariés ont une intensité médiane de R&D qui est légèrement supérieure à l'intensité médiane des entreprises de taille intermédiaire. Cela montre de nouveau que

²⁹ On obtient la même évolution si on prend la R&D par salarié de l'entreprise.

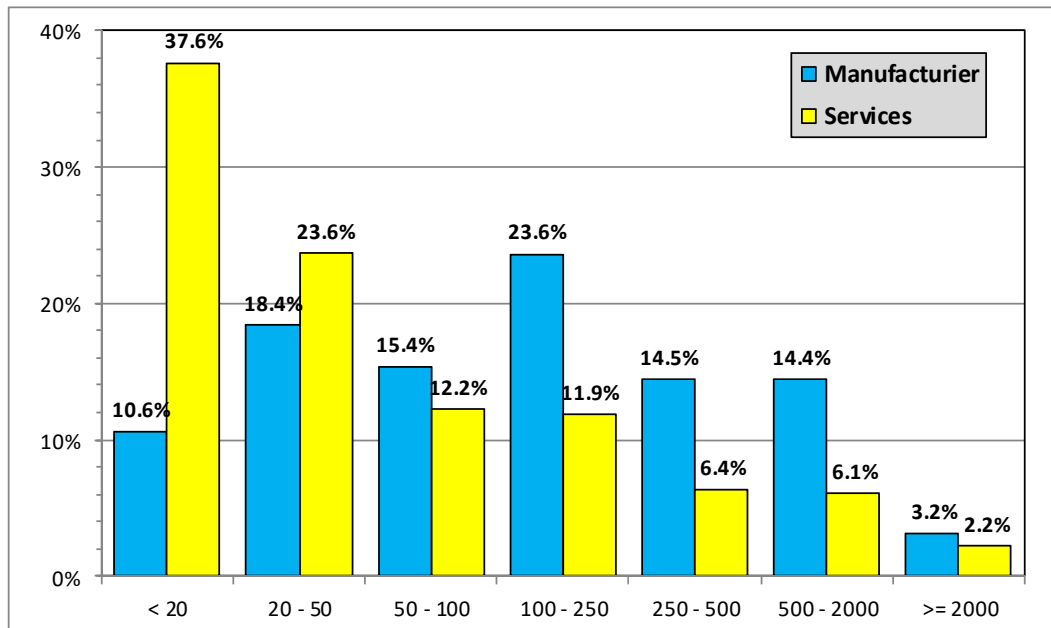
les plus petites entreprises de l'échantillon sont davantage tournées vers des activités scientifiques et techniques.

Graphique A6 : Médiane de l'intensité de R&D (R&D / CA)



Finalement, dans le Graphique A7, on présente la répartition des entreprises par classes de taille selon qu'elles appartiennent à l'industrie manufacturière ou aux services au sens large (voir le Tableau A1). La différence entre ces deux branches est marquante avec plus de 60 % des entreprises de services concentrées dans les entreprises de moins de 50 salariés, alors qu'il y a moins de 30 % des entreprises de l'industrie manufacturière dans ces deux premières classes de taille. De l'autre côté de la distribution, on trouve 32 % des entreprises de l'industrie manufacturière dans les classes des grandes entreprises (plus de 250 salariés), alors qu'il y a seulement 15 % des entreprises des services dans ces classes.

Graphique A7 : Répartition des entreprises par classe de taille



On peut conclure de cette analyse que les entreprises de l'industrie manufacturière sont de taille plus grande que les entreprises des services. Mais que ces dernières effectuent davantage de R&D du fait d'une activité plus spécifique tournée vers les hautes technologies et l'innovation. L'échantillon provenant de l'enquête R&D, ainsi que la règle qui impose une continuité de l'activité de R&D durant cinq années, sélectionnent certainement une catégorie d'entreprise particulière avec un contenu technologique et scientifique plus élevé que la moyenne des entreprises.

Annexe 2 : Passage du modèle ADL au modèle ECM

Pour les estimations, on a introduit la relation d'équilibre de long terme (5) entre le capital recherche et ses déterminants (valeur ajoutée nominale, coût de la recherche et taux de marge) dans un modèle d'ajustement dynamique ADL(3,3), c'est-à-dire un modèle autorégressif à retards échelonnés (6) avec trois retards sur la partie autorégressive et 3 retards sur la partie à retards échelonnés :

$$\begin{aligned}
 k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + \gamma_1 k_{i,t-1} + \gamma_2 k_{i,t-2} + \gamma_3 k_{i,t-3} \\
 & + \theta_0 v_{i,t} + \theta_1 v_{i,t-1} + \theta_2 v_{i,t-2} + \theta_3 v_{i,t-3} \\
 & + \sigma_0 c_{i,t} + \sigma_1 c_{i,t-1} + \sigma_2 c_{i,t-2} + \sigma_3 c_{i,t-3} \\
 & + \kappa_0 \pi_{i,t} + \kappa_1 \pi_{i,t-1} + \kappa_2 \pi_{i,t-2} + \kappa_3 \pi_{i,t-3} + \varepsilon_{i,t}
 \end{aligned} \tag{6}$$

Ce modèle peut se réécrire comme un modèle à correction d'erreur³⁰.

$$\begin{aligned}
 \Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + (\gamma_1 - 1)k_{i,t-1} + \gamma_2 k_{i,t-2} + \gamma_3 k_{i,t-3} \\
 & + \theta_0 \Delta v_{i,t} + (\theta_0 + \theta_1)v_{i,t-1} + \theta_2 v_{i,t-2} + \theta_3 v_{i,t-3} \\
 & + \sigma_0 \Delta c_{i,t} + (\sigma_0 + \sigma_1)c_{i,t-1} + \sigma_2 c_{i,t-2} + \sigma_3 c_{i,t-3} \\
 & + \kappa_0 \Delta \pi_{i,t} + (\kappa_0 + \kappa_1)\pi_{i,t-1} + \kappa_2 \pi_{i,t-2} + \kappa_3 \pi_{i,t-3} + \varepsilon_{i,t}
 \end{aligned}$$

Maintenant on peut également faire apparaître les différences en $t - 1$ et $t - 2$:

$$\begin{aligned}
 \Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1)k_{i,t-1} - (\gamma_2 + \gamma_3)\Delta k_{i,t-1} - \gamma_3 \Delta k_{i,t-2} \\
 & + \theta_0 \Delta v_{i,t} + (\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3)v_{i,t-1} - (\theta_2 + \theta_3)\Delta v_{i,t-1} - \theta_3 \Delta v_{i,t-2} \\
 & + \sigma_0 \Delta c_{i,t} + (\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)c_{i,t-1} - (\sigma_2 + \sigma_3)\Delta c_{i,t-1} - \sigma_3 \Delta c_{i,t-2} \\
 & + \kappa_0 \Delta \pi_{i,t} + (\kappa_0 + \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3)\pi_{i,t-1} - (\kappa_2 + \kappa_3)\Delta \pi_{i,t-1} - \kappa_3 \Delta \pi_{i,t-2} + \varepsilon_{i,t}
 \end{aligned}$$

Finalement en regroupant les termes en niveau en $t - 1$, on obtient :

$$\begin{aligned}
 \Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t - (\gamma_2 + \gamma_3)\Delta k_{i,t-1} - \gamma_3 \Delta k_{i,t-2} + \theta_0 \Delta v_{i,t} - (\theta_2 + \theta_3)\Delta v_{i,t-1} - \theta_3 \Delta v_{i,t-2} \\
 & + \sigma_0 \Delta c_{i,t} - (\sigma_2 + \sigma_3)\Delta c_{i,t-1} - \sigma_3 \Delta c_{i,t-2} + \kappa_0 \Delta \pi_{i,t} - (\kappa_2 + \kappa_3)\Delta \pi_{i,t-1} - \kappa_3 \Delta \pi_{i,t-2} \\
 & + (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1) \left[k_{i,t-1} - \left(\frac{\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3}{1 - \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3} \right) v_{i,t-1} \right. \\
 & \quad \left. - \left(\frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{1 - \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3} \right) c_{i,t-1} - \left(\frac{\kappa_0 + \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3}{1 - \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3} \right) \pi_{i,t-1} \right] + \varepsilon_{i,t}
 \end{aligned}$$

Or les effets de long terme dans le modèle dans le modèle ADL(3,3) sont respectivement pour la valeur ajoutée, le coût de la recherche et le taux de marge :

$$\theta = \frac{\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3}{1 - \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3}, \sigma = -\frac{\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{1 - \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3}, \kappa = \frac{\kappa_0 + \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3}{1 - \gamma_1 - \gamma_2 - \gamma_3}$$

Cela donne la forme du modèle à correction d'erreur (7) :

³⁰ Voir par exemple le livre de A. Banerjee, J. Dolado, J. Galbraith et D. Hendry (1993) : *Co-integration, Error-Correction, and The Econometric Analysis of Non-Stationary Data*, Oxford University Press.

$$\begin{aligned}
\Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + \eta_1 \Delta k_{i,t-1} + \eta_2 \Delta k_{i,t-2} + \xi_0^v \Delta v_{i,t} + \xi_1^v \Delta v_{i,t-1} + \xi_2^v \Delta v_{i,t-2} \\
& + \Delta c_{i,t} + \xi_1^c \Delta c_{i,t-1} + \xi_2^c \Delta c_{i,t-2} + \xi_0^\pi \Delta \pi_{i,t} + \xi_1^\pi \Delta \pi_{i,t-1} + \xi_2^\pi \Delta \pi_{i,t-2} \\
& + \phi (k_{i,t-1} - \theta v_{i,t-1} + \sigma c_{i,t-1} - \kappa \pi_{i,t-1}) + \varepsilon_{i,t}
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\text{avec : } \begin{cases} \eta_1 = -\gamma_2 - \gamma_3 \\ \eta_2 = -\gamma_3 \\ \xi_0^v = \theta_0 \\ \xi_1^v = -\theta_2 - \theta_3 \\ \xi_2^v = -\theta_3 \\ \xi_0^c = \sigma_0 \\ \xi_1^c = -\sigma_2 - \sigma_3 \\ \xi_2^c = -\sigma_3 \\ \xi_0^\pi = \kappa_0 \\ \xi_1^\pi = -\kappa_2 - \kappa_3 \\ \xi_2^\pi = -\kappa_3 \\ \phi = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1 \end{cases}$$

On peut remarquer qu'une condition de stationnarité pour le capital recherche est que $\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 > 0$, ce qui implique que $\phi < 0$. Cela signifie que si le capital recherche en $t - 1$ est supérieur à sa valeur optimale en $t - 1$, la variation du capital recherche en t doit être négative pour s'ajuster à une valeur plus faible. Le modèle ECM n'est qu'une reparamétrisation linéaire du modèle ADL de départ, ce qui montre qu'on peut obtenir les paramètres estimés de la forme ECM directement à partir des estimations du modèle ADL, et réciproquement.

On peut réécrire le modèle ECM sous la forme linéaire dans les variables en définissant l'erreur comme l'écart entre le capital recherche observé en $t - 1$ et sa valeur optimale en $t - 1$:

$$\begin{aligned}
\Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t - (\gamma_2 + \gamma_3) \Delta k_{i,t-1} - \gamma_3 \Delta k_{i,t-2} + \theta_0 \Delta v_{i,t} - (\theta_2 + \theta_3) \Delta v_{i,t-1} - \theta_3 \Delta v_{i,t-2} \\
& + \sigma_0 \Delta c_{i,t} - (\sigma_2 + \sigma_3) \Delta c_{i,t-1} - \sigma_3 \Delta c_{i,t-2} + \kappa_0 \Delta \pi_{i,t} - (\kappa_2 + \kappa_3) \Delta \pi_{i,t-1} - \kappa_3 \Delta \pi_{i,t-2} \\
& + (\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1) (k_{i,t-1} - v_{i,t-1} - c_{i,t-1} - \pi_{i,t-1}) \\
& \quad + (\theta_0 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1) v_{i,t-1} \\
& \quad + (\sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1) c_{i,t-1} \\
& \quad + (\kappa_0 + \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1) \pi_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}
\end{aligned}$$

Ce qui donne l'équation (8) qui est estimée ici (8) :

$$\begin{aligned}
\Delta k_{i,t} = & \alpha_i + \delta_t + \eta_1 \Delta k_{i,t-1} + \eta_2 \Delta k_{i,t-2} + \xi_0^v \Delta v_{i,t} + \xi_1^v \Delta v_{i,t-1} + \xi_2^v \Delta v_{i,t-2} \\
& + \Delta c_{i,t} + \xi_1^c \Delta c_{i,t-1} + \xi_2^c \Delta c_{i,t-2} + \xi_0^\pi \Delta \pi_{i,t} + \xi_1^\pi \Delta \pi_{i,t-1} + \xi_2^\pi \Delta \pi_{i,t-2} \\
& + \phi (k_{i,t-1} - v_{i,t-1} - c_{i,t-1} - \pi_{i,t-1}) + \lambda^v v_{i,t-1} + \lambda^c c_{i,t-1} + \lambda^\pi \pi_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}
\end{aligned}$$

$$\text{en notant } \begin{cases} \phi = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1 \\ \lambda^v = \theta_0 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1 = -(\theta - 1)\phi \\ \lambda^c = \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1 = (\sigma + 1)\phi \\ \lambda^\pi = \kappa_0 + \kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3 + \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 - 1 = -(\kappa - 1)\phi \end{cases}$$

Dans ce modèle ECM, les effets de long terme de chacun des déterminants du capital de R&D dépendent seulement du paramètre de correction d'erreurs ϕ qui détermine largement la vitesse

d'ajustement et des paramètres des variables explicatives en niveau au temps $t - 1$. Ils sont donnés respectivement par les expressions :

$$\theta = 1 - \frac{\lambda^v}{\phi}, \quad \sigma = \frac{\lambda^c}{\phi} - 1, \quad \text{et} \quad \kappa = 1 - \frac{\lambda^\pi}{\phi}$$

Les retards moyens sont calculés, comme. Il est cependant possible de simplifier l'expression du retard moyen (RM) des déterminants de la R&D. On aura respectivement pour les variables explicatives du capital de R&D :

$$\begin{cases} RM^v = \frac{\xi_0^v + \xi_1^v + \xi_2^v}{\phi - \lambda^v} + \frac{\eta_1 + \eta_2 - 1}{\phi} \\ RM^c = -\frac{\xi_0^c + \xi_1^c + \xi_2^c}{\phi - \lambda^c} + \frac{\eta_1 + \eta_2 - 1}{\phi} \\ RM^\pi = \frac{\xi_0^\pi + \xi_1^\pi + \xi_2^\pi}{\phi - \lambda^\pi} + \frac{\eta_1 + \eta_2 - 1}{\phi} \end{cases}$$

Le premier terme dépend des paramètres dynamiques de la variable considérée, qui correspond à la partie des retards échelonnés sur cette variable, alors que le second terme dépend de la dynamique de la variable dépendante.

Annexe 3 : Estimations avec élasticité unitaire

Tableau A2 : Estimation en imposant une élasticité unitaire pour la production

	1999 - 2007				2008 - 2013			
			Elasticité Unitaire				Elasticité Unitaire	
	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.
Effets de long Terme								
log(V)	0.349	(0.405)	1.000	---	1.350 **	(0.617)	1.000	---
log(C)	-1.012 ***	(0.383)	-0.814 **	(0.355)	-0.500 ***	(0.149)	-0.497 ***	(0.141)
TxMrg	3.954 ***	(0.674)	3.314 ***	(0.542)	1.487	(1.268)	1.292	(1.137)
Retards Moyens								
log(V)	5.127	(3.419)	2.876 ***	(0.219)	4.727 ***	(0.833)	4.725 ***	(0.765)
log(C)	2.770 ***	(0.266)	2.582 ***	(0.219)	4.946 ***	(0.840)	4.882 ***	(0.776)
TxMrg	2.386 ***	(0.272)	2.137 ***	(0.210)	3.152 **	(1.232)	3.056 **	(1.267)
Paramètres estimés								
D.log(G) (t-1)	0.000	(0.047)	0.029	(0.041)	0.278 ***	(0.050)	0.266 ***	(0.043)
D.log(G) (t-2)	-0.105 ***	(0.037)	-0.064 **	(0.027)	0.014	(0.011)	0.014	(0.011)
D.log(V) (t)	-0.126	(0.116)	-0.001	(0.090)	0.036	(0.059)	0.027	(0.056)
D.log(V) (t-1)	-0.103 ***	(0.017)	-0.096 ***	(0.017)	-0.020	(0.015)	-0.017	(0.014)
D.log(V) (t-2)	-0.045 ***	(0.010)	-0.037 ***	(0.008)	-0.004	(0.009)	-0.004	(0.009)
D.log(C) (t)	-0.209 ***	(0.080)	-0.165 **	(0.074)	-0.007	(0.006)	-0.009 *	(0.005)
D.log(C) (t-1)	0.084 ***	(0.029)	0.070 ***	(0.027)	0.014 **	(0.006)	0.015 ***	(0.005)
D.log(C) (t-2)	0.042 ***	(0.013)	0.035 ***	(0.013)	0.004	(0.003)	0.005 *	(0.003)
D.TxMrg (t)	1.126 ***	(0.178)	1.033 ***	(0.178)	0.379 **	(0.176)	0.336 **	(0.154)
D.TxMrg (t-1)	-0.199 ***	(0.041)	-0.191 ***	(0.041)	-0.018	(0.033)	-0.009	(0.028)
D.TxMrg (t-2)	-0.042 **	(0.018)	-0.050 ***	(0.018)	-0.002	(0.015)	0.002	(0.012)
Erreur (t-1)	-0.369 ***	(0.046)	-0.373 ***	(0.047)	-0.148 ***	(0.035)	-0.152 ***	(0.033)
log(V) (t-1)	-0.241	(0.148)	0.000	---	0.052	(0.087)	0.000	---
log(C) (t-1)	-0.743 ***	(0.139)	-0.676 ***	(0.128)	-0.222 ***	(0.036)	-0.228 ***	(0.033)
TxMrg (t-1)	1.091 ***	(0.236)	0.862 ***	(0.198)	0.072	(0.186)	0.044	(0.173)
Tests								
Test Sargan	38.26 *	(0.074)	39.97 *	(0.067)	34.30	(0.157)	35.99	(0.143)
Test m1	-3.609 ***	(0.000)	-4.441 ***	(0.000)	-5.232 ***	(0.000)	-5.278 ***	(0.000)
Test m2	0.688	(0.754)	0.098	(0.539)	-0.038	(0.485)	-0.036	(0.486)

1999 - 2007 : 16 496 observations, 4 037 entreprises

2008 - 2013 : 12 903 observation, 3 767 entreprises