



SEURECO
ERAΣME

« Évaluation économique du renforcement du CIR :

Exercice de simulation avec le modèle NEMESIS »

Rapport final

Pierre Le Mouël et Paul Zagamé

04/11/2020

Avant-propos

L'étude présentée dans ce rapport pour France Stratégie¹ fait suite aux travaux économétriques commandés à la mi-2016 par la Commission nationale d'évaluation des politiques d'innovation² (CNEPI), visant notamment à évaluer l'effet de levier du CIR sur les dépenses de recherche et développement des entreprises (R&D), et d'identifier ainsi les montants annuels des investissements en R&D effectivement générés grâce à ce dispositif jusqu'en 2016.

Si l'estimation de l'effet de levier du CIR sur l'effort de recherche des entreprises nous renseigne sur l'efficacité du dispositif en tant que mesure incitative, elle ne permet pas d'appréhender ses conséquences économiques ni le retour sur investissement qu'il représente pour les pouvoirs publics.

La croissance économique repose en effet de façon importante, comme l'ont montré les nouvelles théories de la croissance, sur les efforts de recherche et d'innovation (R&I) des entreprises, et tout surcroît d'investissement dans la R&I génère dans un délai plus ou moins long, selon la montée en puissance des investissements et le délai de maturation des innovations, des gains en termes d'activité et de créations d'emplois.

Quelle est la valeur créée et donc le taux de rendement pour la collectivité et les pouvoirs publics des fonds investis ? Combien d'emplois le CIR a-t-il permis de créer dans la recherche et dans les autres activités économiques ? Comment le CIR a-t-il renforcé la compétitivité des entreprises françaises et contribué à améliorer le solde extérieur de la France ? C'est à la réponse à l'ensemble de ces questions, avec l'appui du modèle NEMESIS, que cette étude est consacrée³.

¹ Ce rapport n'engage que ses auteurs et n'engage pas France Stratégie.

² « L'impact du crédit d'impôt recherche – Avis de la Commission nationale d'évaluation des politiques d'innovations », Président Gilles de Margerie, Rapporteurs Mohamed Harfi et Rémi Lallement, France Stratégie, Mars 2019, <https://www.strategie.gouv.fr/sites/strategie.gouv.fr/files/atoms/files/fs-cnepi-avis-impact-cir-06032019-final-web.pdf>

³ Les auteurs remercient à SEURECO Baptiste Boitier et Arnaud Fougeyrollas, et à France Stratégie Cédric Audenis, Vincent Aussilloux, Mohamed Harfi, Rémi Lallement et Boris Le Hir, pour leurs remarques sur des versions antérieures du rapport ayant permis d'améliorer de façon importante la version qui est présentée ici.

Table des matières

Avant-propos.....	2
Synthèse.....	5
Quelles performances pour les sommes dépensées sur la période 2008-2016 ?	6
Les effets à long terme du dispositif lorsqu'il est maintenu « pour toujours »	7
Créer les conditions favorables au fonctionnement des activités de recherche	8
Une autre source de déperdition de croissance.	8
La sensibilité des résultats à l'égard d'incertitudes majeures, appelle de nouveaux travaux.....	9
A quelle condition, les effets du renforcement du CIR dépassent ceux d'une baisse comparable de l'impôt sur les sociétés ?	10
Conclusion	10
1. Introduction.....	12
2. Les enseignements de la littérature empirique et théorique sur les liens entre croissance économique et investissement en R&D des entreprises	14
2.1. Quelques repères théoriques, empiriques et politiques.....	14
2.2. La mesure des rendements privés et des rendements sociaux des investissements en R&D dans la littérature économétrique	20
2.3. L'efficacité de l'action publique dans les nouvelles théories de la croissance	33
3. L'évaluation des politiques de R&I avec NEMESIS, QUEST III et RHOMOLO et les choix méthodologiques retenus avec NEMESIS pour l'évaluation économique du CIR.....	49
3.1. L'innovation dans le modèle QUEST III.....	52
3.2. L'innovation dans le modèle NEMESIS utilisé pour l'étude	56
3.3. L'innovation dans le modèle RHOMOLO	72
3.4. Que nous disent chacun des trois modèles dans le cas d'Horizon Europe ?	74
3.5. La méthodologie de l'évaluation macroéconomique du renforcement du CIR avec le modèle NEMESIS	78
4. L'évolution des montants alloués au titre du CIR depuis son renforcement en 2008 et leur allocation	80
5. Les scénarios simulés avec le modèle NEMESIS pour évaluer les impacts économiques du CIR	83
6. Les impacts économiques des créances accordées au titre du CIR entre 2008 et 2016 (Scénarios « CIR 2008-2016 »)	87
6.1. Les impacts pour le PIB et l'emploi au niveau macroéconomique dans le cas du scénario CIR1	87
6.2. Résultats synthétiques et analyse coût-bénéfice des scénarios « CIR 2008-2016 ».....	93
7. Les impacts économiques des scénarios « CIR forever »	102

7.1. Les résultats du scénario CIR1FE avec effets Phillips et comportements de marge à l'exportation	104
7.2. L'influence à long terme des effets Phillips et des comportements de marge à l'exportation sur les impacts économiques du renforcement du CIR	110
7.3. Résultats synthétiques et analyse coût-bénéfice des scénarios « CIR forever ».....	117
8. Premiers éléments d'analyse du coût d'opportunité du renforcement du CIR en 2008 : le cas d'une diminution du taux d'imposition sur les sociétés (IS)	121
8.1. Comment une baisse d'IS modifie le coût d'usage du capital et l'investissement des entreprises.....	122
8.2. Comment une baisse d'IS impacte l'investissement, le PIB et l'emploi dans le modèle NEMESIS	125
8.3. Quel coût d'opportunité du CIR par rapport à une baisse d'IS ?	127
9. Conclusion	129
10. Bibliographie.....	132

Synthèse

Le modèle macro sectoriel NEMESIS a été retenu par France Stratégie pour réaliser une évaluation économique du renforcement du dispositif du CIR après 2007.

Dans ce rapport, après une première section introductive, la section 2 commence par présenter une revue analytique très détaillée de l'abondante littérature économique qui s'est développée depuis les années 1950 sur les liens entre les investissements en recherche des entreprises et la croissance économique. Au plan empirique, nous insistons sur les principaux éléments qui vont permettre au décideur public d'asseoir sa politique de soutien aux activités de recherche et d'innovation des entreprises. Cela concerne en particulier la valeur de l'élasticité de l'activité économiques aux investissements dans la recherche des entreprises et celles de leur taux de rendement privé et social. Au plan théorique, nous insistons sur la controverse qui continue à opposer les partisans de la croissance semi-endogène à ceux de la croissance endogène. Pour les premiers, la force des externalités de connaissance intertemporelles à la source des rendements croissants que provoquent les investissements dans la recherche est insuffisante pour qu'une politique de soutien à la recherche, comme le CIR en France, puisse avoir une influence à long terme sur le taux de croissance de l'économie. Pour les seconds au contraire, cette force est telle que toute politique de soutien à la recherche qui accroît durablement l'intensité de recherche des entreprises, et leur capacité à transformer les connaissances scientifiques et technologiques générales en innovations technologiques, aura au contraire, un impact durable et permanent sur le taux de croissance de l'économie, à condition d'être maintenue dans le temps.

La troisième section du rapport explique ensuite comment la croissance économique est représentée dans le modèle NEMESIS, qui est depuis bientôt vingt années, le modèle le plus utilisé par la Commission européenne pour l'évaluation de ses programmes de soutien à la recherche publique et privée. On y montre que les mécanismes de croissance du modèle s'appuient sur les deux aspects essentiels de la croissance : l'importance pour le taux de croissance à long terme d'augmenter la « taille » du secteur de la recherche et de créer des connaissances nouvelles et celle d'augmenter l'effort de recherche des entreprises, en particulier leur capacité à transformer les connaissances en innovations. La calibration de ces mécanismes, sur la base des effets moyens mesurés par littérature économétrique sur le sujet, est également expliquée et détaillée dans cette section.

La section 4 rappelle les montants représentés par le renforcement du dispositif du CIR à partir de 2008, soit environ 0,18 point de PIB en rythme de croisière, ainsi que leur répartition entre les entreprises dans les secteurs de production. La section 5 présente ensuite la philosophie des deux familles scénarios qui ont été simulés avec le modèle pour évaluer les impacts du renforcement du CIR sur la compétitivité, la croissance et l'emploi des entreprises. Les scénarios « CIR 2008-2016 » ou « *one shot* » ne prennent en compte que les crédits d'impôts versés entre 2008, l'année du renforcement du dispositif, et 2016, la dernière année observée pour l'allocation des crédits d'impôts au moment de réaliser l'étude. Cette première série de scénarios nous permet d'évaluer les impacts du dispositif mesurés « aujourd'hui », c'est-à-dire en 2020, pour les crédits d'impôts distribués entre 2008 et 2016 au titre du renforcement du dispositif comme si en 2016 le CIR avait été supprimé. Les effets mettent du temps à se matérialiser en raison des délais importants qui existent entre le temps des investissements dans la recherche, que provoque le CIR, et celui de leurs retombées positives en

termes d'innovations, de compétitivité et de croissance. Dans une seconde famille de scénarios, on fait l'hypothèse, au contraire, que le CIR est maintenu après 2016 au niveau moyen constaté entre 2010 et 2016, soit un montant de 0,18 point de PIB. Cette seconde famille de scénarios, dénommée « CIR forever », nous permet de mieux évaluer comme le renforcement du CIR modifie le taux de croissance de l'économie française à long terme, et à quelles conditions son efficacité peut être assurée durablement. Sur ce point, on montre que les propriétés positives de croissance endogène introduites dans le modèle ne peuvent se réaliser à long terme qu'à condition que les effets de rééquilibrage macroéconomique ne l'entravent pas trop. Notamment, il est important que les gains dus aux innovations de productivité et de qualité, qui augmentent la compétitivité, ne se dissipent pas trop rapidement en hausses de prix. De ce point de vue, nous distinguerons encore deux types de simulations, en fonction de l'importance des forces de rééquilibrage macroéconomique. Celles-ci proviennent principalement des tensions à l'embauche des chercheurs sur le marché du travail, décrites dans le modèle par la courbe de Phillips, et des comportements de marge des entreprises qui peuvent être tentés d'utiliser le dispositif pour accroître celles-ci, limitant en retour les gains atteignables en termes de compétitivité extérieure de l'économie française, et les effets sur la croissance et l'emploi.

Les résultats des simulations, qui sont présentés dans la section 6 pour les scénarios « CIR 2018-2017 », et dans la section 7 pour les scénarios « CIR forever », incluent également une analyse de sensibilité sur la valeur utilisée pour l'effet de levier du CIR sur l'investissement en recherche des entreprises. Sur ce point, la section suivante du rapport, la section 8, propose une analyse préliminaire du coût d'opportunité du renforcement du CIR par rapport à une diminution équivalente de l'impôt sur les sociétés. Cela permet de donner un ordre de grandeur de la valeur minimale de l'effet de levier au-dessus duquel le CIR se révèle être « supérieur » à l'IS pour stimuler à la fois la croissance économique et l'emploi.

Nous en venons maintenant à la synthèse des principaux résultats de l'étude avec également un éclairage sur les besoins d'approfondissements futurs de cette étude dont les résultats restent à ce stade exploratoires.

Quelles performances pour les sommes dépensées sur la période 2008-2016 ?

Dans la première famille de simulations, l'accroissement du CIR qui est limitée dans le temps sur la période 2008-2016, engendre dans une première phase, avant que n'arrivent les innovations, un accroissement de la demande sans qu'il y ait de contrepartie du côté de l'offre. Cette phase « keynésienne » où l'accroissement du PIB est tiré par l'investissement et la consommation, est ensuite suivie par une phase d'innovations de procédé et de qualité, qui vont accroître la compétitivité et favoriser la demande intérieure et extérieure. C'est surtout le dynamisme de l'industrie, qui investit beaucoup en recherche et qui va donc recevoir beaucoup de soutien par le CIR, et l'augmentation des exportations, qui vont entraîner cette phase. Puis les effets du dispositif s'estompent progressivement avec l'obsolescence des derniers investissements en R&D, dont les effets disparaissent presque totalement en 2030.

Avec les mécanismes usuels du modèle et un effet de levier de 1⁴ (retenu ici à titre indicatif mais dont l'ampleur est discutée plus bas), le gain annuel moyen de PIB sur la période 2008-2020 serait de 7,5 milliards d'euros sur les 13 années analysées, soit un total de 97,5 milliards d'euros pour l'ensemble de la période. En tenant compte de l'accroissement des dépenses de l'état de 31,6 milliards pour financer le renforcement du CIR entre 2008 et 2016, cela veut dire que chaque euro dépensé aurait augmenté le PIB de 2,9 euros, ce qui est un multiplicateur important pour la dépense publique. Le solde extérieur contribue à ce résultat à hauteur de 0,9 euro, ce qui est considérable. 1 euro de dépenses publiques se retrouve ainsi déjà presque intégralement dans l'amélioration de la balance commerciale, en grande partie des secteurs de la Chimie-pharmacie et du Matériel de transports. Le gain annuel moyen en emplois serait de 61 000, dont 28 000 emplois qualifiés, 33 000 emplois peu qualifiés, et avec un tiers de ces créations d'emplois dans l'industrie et dans la recherche.

Les effets à long terme du dispositif lorsqu'il est maintenu « pour toujours »

La deuxième famille de scénarios, dans lesquels l'accroissement des dépenses de CIR est permanent, se traduit par une augmentation continue de l'effort de R&D de la nation de 0,18 point de PIB au titre du renforcement du CIR, sous l'hypothèse d'un effet de levier de 1. Cela génère les conditions nécessaires pour augmenter, de façon durable, le taux de croissance de l'économie. Mais ces conditions ne sont pas suffisantes, car c'est compter sans les forces de rééquilibrage macroéconomique qui freinent ce processus. Lorsque la croissance endogène est entravée, le principal obstacle vient du marché du travail (de la courbe de Phillips dans le modèle NEMESIS), en raison des tensions inflationnistes d'origine salariale que provoque l'embauche des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens, qui remettent en cause les gains de compétitivité. Les simulations du modèle, sont simples à résumer : le processus de croissance endogène augmente le taux de croissance potentiel de l'économie et l'emploi, mais ce processus est freiné par la hausse des salaires et des prix, qui dissipent les gains de compétitivité dus aux innovations. Il reste un niveau faible d'augmentation de la productivité, qui permet de déplacer le chômage d'équilibre à un niveau plus faible, mais quand celui-ci est atteint, l'emploi cesse d'augmenter. L'économie va croître en écart, par rapport à la croissance dans le scénario de référence du modèle où par hypothèse le CIR n'est pas renforcé, avec une augmentation bien plus faible, +0,019%, que celle indiquée par la théorie de la croissance endogène, à ce niveau de renforcement de l'effort de R&D des entreprises. Tout cela produit néanmoins en moyenne une création de valeur annuelle moyenne (mesurée en gains de PIB), sur la période 2008-2030, de 19,4 milliards. Le gain en emplois se stabilise après 2030 à 230 000 emplois supplémentaires. En moyenne sur la période 2008-2030, l'emploi est plus élevé d'environ 160 000 sous l'effet de la réforme du CIR et de son renforcement. Le multiplicateur de la dépense publique, qui mesure le gain moyen de PIB par euro dépensé au titre du CIR, est de 4,6. Les caractéristiques de cette croissance sont, par ailleurs, identiques à celle de la famille de scénarios précédente, avec les impacts les plus importants pour les secteurs industriels et sur le solde extérieur. En 2030, le solde commercial s'améliore de 13,6 milliards en euros constants, dont 4,2 Milliards pour la chimie pharmacie et 5,8 pour le matériel de transport, c'est-à-dire presque le quart du déficit moyen de la balance commerciale de la France enregistré au cours des 5 dernières années.

⁴ Les simulations ont été réalisées sur une plage d'effets de levier compris entre 0,8 et 1,2 tels que ceux-ci ressortaient des études qui ont été menées dans les précédents travaux de la CNEPI (Bozio et al. 2017, Lopez et Mairesse 2018, et Mulkay et Mairesse 2018). Depuis, d'autres travaux ont été menés et ceux-ci pourront amener à reconsidérer cette plage d'effets de levier comme discuté dans la dernière partie du rapport.

On retrouve dans ces résultats une propriété générale que nous livrent les théories de la croissance endogène : les politiques visant à augmenter les efforts de R&D doivent être maintenues, pour bénéficier des externalités intertemporelles et ainsi augmenter durablement le taux de croissance de l'économie. Mais on constate aussi, que ces politiques doivent être accompagnées d'autres mesures, pour assurer leur efficacité dans le temps, comme la formation de chercheurs, d'ingénieurs et de techniciens supérieurs, afin que les gains à en retirer ne se dissipent pas dans le temps avec l'apparition de tensions inflationnistes.

Créer les conditions favorables au fonctionnement des activités de recherche

Le rôle important des tensions salariales dans le freinage de la croissance, impose de réaliser au moins une famille de simulations en supprimant celle-ci dans le modèle, ce qui revient à annuler l'influence de l'« effet Phillips ». En effet, il faut bien constater que l'effet Phillips n'a guère joué durant la période pré-covid, où la réduction du chômage ne s'est pas accompagnée d'une hausse des salaires. L'objectif de cette suppression dans les simulations est cependant différent. Il consiste à comparer une situation où l'offre de travail est par hypothèse totalement « élastique » à une situation où l'offre des qualifications requise pour augmenter l'effort de recherche est totalement « inélastique », et engendre donc une augmentation des rémunérations salariales dans la recherche, un effet d'éviction du personnel de recherche, notamment les ingénieurs, sur le personnel de production, ce qui provoque des hausses de prix et des tensions inflationnistes qui se diffusent dans toute l'économie. En supprimant ces tensions sur le marché du travail, la croissance du PIB est moins entravée par les forces macroéconomiques rééquilibrantes et elle se rapproche des valeurs théoriques de la croissance endogène. Ainsi, sur la période 2008-2030, les impacts mesurés avec le modèle du renforcement du dispositif se renforcent un peu, par rapport au cas précédent où ces tensions sont présentes : le multiplicateur progresse de 4,6 à 5,7 et le gain annuel moyen en emplois de 135 000 à 160 000. À plus long terme, c'est-à-dire passé 2030, l'impact du renforcement du CIR sur le taux de croissance de l'économie est également plus important, ce qui accroît les écarts dans le temps entre les deux scénarios. En 2038, l'écart de PIB atteint 1,55 % dans le scénario avec effets Phillips, et 1,85 % dans le nouveau scénario sans ces effets, soit un impact renforcé sur le taux de croissance potentiel de l'économie d'environ 0,04 point. À cet horizon de 2038, les créations d'emplois sont également plus importantes dans le nouveau scénario, avec à cette date + 320 000 contre seulement + 230 000 dans le scénario initial. La suppression de l'effet Phillips revient à enlever la contrainte de chômage d'équilibre ce qui explique cette amélioration.

Soulignons que l'écart de résultats entre ces deux simulations n'a qu'une valeur indicative, car il ne s'appuie pas sur une analyse empirique fine de la situation française, qui doit tenir compte de toutes les données du marché du travail liées à la recherche : situation actuelle des chercheurs, rémunérations, emploi, chômage, attractivité des métiers de la recherche en France, capacité du système éducatif à offrir des qualifications adaptées, etc. Mais il a le mérite de donner des ordres de grandeur sur ce que pourrait être le gain d'un fonctionnement « idéal » de ce marché en invitant à réfléchir aux réformes qui permettraient de l'assurer.

Une autre source de déperdition de croissance.

Les exportateurs qui innoveront se trouvent dans une situation un peu particulière, dans la mesure où, contrairement à leurs concurrents qui sont spécialisés sur le marché intérieur, ils affrontent une concurrence extérieure qui n'a pas bénéficié d'innovations entraînées par le CIR. La tentation est

grande, pour eux, d'utiliser les baisses de coûts entraînés par les innovations pour augmenter leur taux de marge à l'exportation, et stériliser ainsi une part des impacts positifs du CIR sur la croissance et sur l'emploi. Ce comportement d'accroissement des marges à l'exportation fait partie des hypothèses de base du modèle. En supprimant cette hypothèse, la baisse supplémentaire du prix des exportations qui en résulte permet également de réduire davantage le taux de chômage naturel et d'augmenter le niveau de l'emploi. Par rapport à la simulation du modèle dans le cas « standard », le multiplicateur estimé sur la période 2008-2030 pour le CIR passe de 4,6 à 5,7, le gain annuel moyen en exportations nettes de 6,2 à 8,2 milliards d'euros, et le gain annuel moyen en emplois de 230 000 à 300 000.

La sensibilité des résultats à l'égard d'incertitudes majeures, appelle de nouveaux travaux

Dans les simulations du modèle NEMESIS, trois « paramètres » de l'innovation jouent un rôle très important pour déterminer l'efficacité de la politique analysée : l'effet de levier (combien un euro de CIR va-t-il entraîner de dépenses de R&D des entreprises), les externalités de connaissances (les transferts de savoir qui augmentent la productivité collective de la recherche) ainsi que la performance économique de la R&D. Le rapport montre comment, à partir de travaux académiques, les externalités et la performance de la recherche ont été représentées dans NEMESIS. En ce qui concerne l'effet de levier, il a été repris pour ces simulations de résultats de travaux micro-économétriques commandés par la CNEPI (Cf *infra*).

Mais plusieurs études menées dans un cadre européen montrent que, pour les politiques d'aide à la R&D, la valeur de ces paramètres dépendent beaucoup de qui les met en place (L'Europe ou ses États membres) et de qui les financent. Sans rentrer dans les détails, on peut concevoir qu'une subvention des seuls investissements additionnels dans la recherche, comme c'est le cas pour les programmes européens, doit induire un effet de levier sur les investissements dans la recherche des bénéficiaires supérieur à celui d'un dispositif qui subventionne la « masse » de ces investissements, comme aujourd'hui le CIR. De la même manière, la mise en concurrence des projets de recherche qui sont aidés, comme pour les programmes européens mais également pour des dispositifs comme le PIA ou les financements de l'ANR, augmente *a priori* également la productivité de la recherche. Ainsi, comment se situent, par rapport à la moyenne, les paramètres spécifiques au CIR en ce qui concerne l'effet de levier et la performance économique des investissements en R&D qu'il provoque ? Difficile de le dire, mais il est sûr qu'avec mode d'attribution sans sélection, la valeur de ces paramètres doit être inférieure, avec également des impacts économiques moins importants que ceux des programmes cités précédemment.

D'après d'autres études menées sur les programmes européens de recherche avec le modèle NEMESIS, que nous illustrons dans le rapport, nous savons que les impacts économiques mesurés pour les programmes de recherche sont relativement proportionnels aux hypothèses retenues pour ces deux paramètres. Pour l'effet de levier, dans le cas du renforcement CIR, nous montrons également que les impacts à attendre du dispositif sont relativement linéaires avec l'hypothèse qui est retenue, dans l'intervalle [0,8 et 1,2], faisant varier les résultats d'environ -20% à +20% autour des résultats pour une valeur « centrale » de 1 pour l'effet de levier, utilisée dans la plupart des scénarios. Enfin, en comparant les résultats de tous scénarios qui ont été simulés avec le modèle NEMESIS pour évaluer l'impact économique du renforcement du CIR, il ressort que selon les hypothèses retenues pour l'effet

de levier, sur l'existence ou non de tensions sur le marché des qualifications requises pour les activités de recherche, et sur les comportements de marge à l'exportation des entreprises bénéficiaires du CIR, les résultats peuvent varier du simple à près du double.

A quelle condition, les effets du renforcement du CIR dépassent ceux d'une baisse comparable de l'impôt sur les sociétés ?

La dernière section du rapport présente les résultats d'une analyse préliminaire de coût d'opportunité, visant à déterminer la valeur minimale de l'effet de levier du CIR sur les investissements en R&D des entreprises, pour que les bénéfices à attendre du dispositif soit supérieures à ceux d'une diminution du même montant du taux d'imposition sur les sociétés. Cette comparaison est logique puisque le CIR est lui-même une baisse de l'impôt payé par les sociétés. Et, comme pour le CIR, l'impact à attendre d'une baisse d'IS doit lui-même transiter par l'intermédiaire d'une augmentation de l'investissement des entreprises, mais de nature différente que dans le cas du CIR, puisqu'il s'agit pour le CIR d'une augmentation des investissements en R&D, et pour l'IS d'une augmentation d'ensemble des investissements des entreprises, avec cependant une proportion moyenne d'investissement dans la recherche et dans d'autres actifs d'innovation à hauteur de 25 %.

Ces premiers résultats d'analyse du coût d'opportunité du renforcement du CIR par rapport à une diminution de même montant de l'IS doivent être pris avec précaution, la méthodologie utilisée pour traduire les effets de la baisse de l'IS dans le modèle n'ayant pu être éprouvée, en l'absence d'études significatives sur le sujet. Ils indiquent toutefois avec la méthodologie utilisée que le renforcement du CIR reste préférable à la diminution de l'IS, tant que l'effet de leviers du CIR sur les investissements en recherche des entreprises est supérieur à 0,3 pour le PIB, et à 0,4 pour l'emploi.

Conclusion

Au terme de ce parcours, que reste-t-il de cet ensemble volumineux de simulations ? Quelques résultats robustes, des limites et d'importantes marges d'incertitudes, mais l'ordre de grandeur des résultats conduit à des conclusions qualitatives ainsi qu'à la définition de nouvelles pistes d'investigation.

Les résultats robustes sur les effets du renforcement du dispositif du CIR sont les suivantes : un effet positif sur la compétitivité, la croissance et l'emploi, sans préjuger de son ampleur exacte ; l'intérêt à maintenir le dispositif dans la durée, mais cette propriété n'est pas spécifique au CIR et s'applique à toute politique visant à accroître l'effort de R&D ; les effets très favorables sur le commerce extérieur et l'activité industrielle, ce qui, replacé dans la perspective des difficultés de compétitivité industrielle de la France aujourd'hui n'est pas anodin.

Du côté des limites, elles sont multiples. Il y a d'abord celles qui tiennent aux caractéristiques du modèle utilisé qui se fonde sur certains mécanismes tout en ignorant d'autres, car par définition un modèle macroéconomique ne peut rendre compte de tous les mécanismes de l'économie réelle. Une autre limite réside dans le manque de raccordement des conditions de l'offre de personnels de recherche dans le modèle aux données précises concernant la France sur ce sujet. Il n'y a par ailleurs pas de prise en compte des « fuites de production », qui correspondent aux situations où la recherche et l'innovation est réalisée en France, avec une mise en production des innovations dans des pays où les coûts des facteurs de production sont plus avantageux. Il serait également nécessaire d'élargir les simulations du modèle à davantage de comparaisons des effets du renforcement du CIR, à ceux

d'autres politiques de soutien à la recherche et à l'innovation, par exemple *via* d'autres modes d'aides à la R&D des entreprises, un soutien plus important à la recherche fondamentale dans les laboratoires publics, dont les effets positifs sont plus importants mais plus longs à apparaître que pour la recherche appliquée, ou d'autres politiques de soutien à l'économie de la connaissance comme celles axées sur la formation du personnel qualifié nécessaire aux activités de R&D.

Ces limites et les incertitudes qui entourent les résultats ne permettent pas de considérer cette politique comme la meilleure face à d'autres types d'interventions publiques. Cependant, la multiplicité des résultats quantitatifs produits avec le modèle NEMESIS peut permettre de mieux définir le paysage de ce dispositif d'aide à la recherche, d'en cerner les contours et d'ouvrir de nouvelles questions et de nouveaux débats.

1. Introduction

La Commission nationale d'évaluation des politiques d'innovation (CNEPI), qui est en charge sous l'égide de France Stratégie de l'évaluation des politiques d'innovation, et le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (MESRI), ont commandé depuis 2016 plusieurs études sur les impacts du Crédit d'impôt recherche (CIR), et plus spécifiquement sur les impacts de sa transformation en 2008. A partir d'un système combinant depuis 2004, une part en accroissement et une part en volume, qui a augmenté jusqu'en 2007, la réforme de 2008 a fondé le dispositif du CIR uniquement sur le volume des dépenses des entreprises en la matière, avec un taux de crédit d'impôt de 30 % pour les dépenses inférieures à 100 millions d'euros et de 5 % au-delà de ce seuil. Ces études de Bozio et al. (2017), Lopez et Mairesse (2018) et Mulkay et Mairesse (2018) avaient pour objectif principal⁵, d'évaluer l'efficacité de cette aide fiscale à renforcer la capacité des entreprises à investir dans la R&D. La question ainsi posée était : combien chaque euro dépensé par l'État au titre du CIR a-t-il augmenté l'investissement en R&D des entreprises ? Les résultats de ces études ont permis de fournir une réponse plutôt favorable à cette question, avec une dépense de R&D estimée généralement supérieure à 1 € à court terme, et proche de 1 € à long terme. La CNEPI a ainsi rendu un avis favorable sur l'impact du CIR en mars 2019, qui aurait contribué avec la réforme de 2008 à stabiliser et même à renforcer l'effort de R&D des entreprises, contrecarrant ainsi en partie les effets négatifs de la crise de 2008-2009. Par contre, toutes ces études nous renseignent assez peu sur les impacts du CIR sur toutes les activités d'innovation en aval des investissements en R&D, et surtout sur tous les effets indirects du CIR sur l'activité économique et les créations d'emplois, aux niveaux sectoriel et macroéconomique. Pour cette raison, la CNEPI a lancé début 2019 une seconde phase d'évaluation des effets du CIR, visant à mieux éclairer ses effets sur son « objectif implicite, qui est l'amélioration de la performance de notre économie, notamment *via* des gains en termes d'attractivité et de compétitivité internationale ».

Les résultats présentés dans ce rapport sont ceux d'une étude commandée par France Stratégie à la société de recherche et de conseil SEURECO visant à mieux cerner quels ont été, jusqu'ici, les impacts du CIR sur l'activité économique, la compétitivité et les créations d'emplois en France, et quels pourraient être ses impacts au cours des prochaines décennies, si le dispositif est maintenu. Au niveau de la méthodologie, l'étude utilise comme information de départ les résultats des études économétriques commandées par la CNEPI et le MESRI, sur l'effet de levier du CIR sur l'investissement

⁵Mais pas seulement : Suivant le cahier des charges défini par la CNEPI, les travaux de Bozio et al. (2017) et de Lopez et Mairesse (2018) ont aussi eu pour objectif de quantifier les impacts plus en aval de la R&D : innovation, emploi productivité, etc. Et ils y sont arrivés en partie, notamment concernant les impacts sur l'innovation et la productivité.

en R&D des entreprises. Le modèle macro économétrique NEMESIS, qui est le modèle de simulation économique le plus utilisé par la Commission Européenne pour l'évaluation de ses politiques de recherche, développement et innovation (RD&I), est ensuite simulé pour décrire, à un niveau sectoriel détaillé, tous les enchaînements allant des crédits d'impôts reçus par les entreprises bénéficiaires du CIR dans les différents secteurs de production, à leurs effets en termes d'innovations, de compétitivité extérieure, de créations d'emplois et de valeur ajoutée, détaillés au niveau de 38 activités économiques. Le bouclage macroéconomique du modèle permet également de calculer l'ensemble des impacts directs et indirects du CIR sur le PIB et ses composantes (solde extérieur, investissement, consommation finale, ...), sur les créations d'emplois totales par catégorie (emploi qualifié, peu qualifié, emploi industriel, emploi de recherche, ...) et sur les finances publiques, cela année après année à partir de 2008 et à un horizon temporel de 30 ans afin de bien décrire les effets de long terme des innovations que le CIR aura contribué à financer. Deux catégories de scénarios sont simulées et analysées. Tout d'abord, des scénarios que nous avons appelés « CIR 2008-2016 » qui ne retiennent que les créances qui ont été accordées entre 2008 et 2016 au titre du renforcement du dispositif après 2007⁶. Les résultats nous indiquent quels sont « aujourd'hui », c'est-à-dire en 2020, les impacts sur l'activité économique et sur l'emploi que le renforcement du dispositif a déjà produits. Une analyse coût-bénéfice du dispositif est également proposée (gain de PIB par euro de CIR distribué, taux de rendement social, impact sur les finances publiques, ...). Ensuite, dans les scénarios que nous avons appelés « CIR *forever* » nous faisons l'hypothèse que le CIR est maintenu constant après 2016, la dernière année connue au moment de réaliser l'étude, et qu'il continuerait à représenter un coût pour l'État de 0,28 points de PIB, dont 0,18 points au titre de son renforcement sur lequel l'étude est centrée. Cette seconde série de scénarios permet, notamment, de mieux apprécier l'efficacité du dispositif à influencer l'activité et les créations d'emplois de l'économie française à long terme. Nous verrons que, selon le comportement de marge des entreprises à l'exportation, et l'importance du pouvoir de négociation des salariés sur le marché du travail, les impacts à long terme du dispositif peuvent varier du simple à près du double.

Au niveau de l'organisation du rapport, nous commençons dans la section 2 par rappeler les principaux résultats de l'abondante littérature à la fois théorique et empirique analysant l'impact des investissements en R&D sur le taux de croissance de l'économie. La section 3 présente ensuite les principaux mécanismes qui sont utilisés pour représenter les activités de recherche et d'innovation dans le modèle NEMESIS, qui ont été inspirés directement des résultats de la littérature théorique et

⁶ L'évaluation ne porte ainsi que sur le « renforcement du CIR » et non pas sur l'ensemble du dispositif. Par exemple, sur les 0,28 point de PIB environ qu'a représenté en moyenne le CIR entre 2011 et 2016, seuls 0,18 points (64 % du montant total) sont ainsi pris en compte dans l'étude.

empirique que nous résumons dans la section 2. Après un rappel dans la section 4 de l'évolution des montants alloués aux entreprises dans les différents secteurs de production au titre du CIR depuis 2007, la section 5 détaille ensuite les deux catégories de scénarios qui ont été simulés avec le modèle pour évaluer les impacts du renforcement du CIR après 2007 sur la croissance et sur l'emploi. Les résultats des scénarios de type « CIR 2008-2016 » sont ensuite présentés dans la section 6, puis ceux des scénarios de type « CIR *forever* » dans la section 7. La section 8 propose une analyse préliminaire du coût d'opportunité du renforcement du CIR par rapport à une diminution du taux d'imposition sur les sociétés. Enfin, la section 9 conclut le rapport en résumant les principales conclusions de l'étude, avec également un rappel de ses limites que pourront permettre de pallier des études complémentaires dans le futur.

2. Les enseignements de la littérature empirique et théorique sur les liens entre croissance économique et investissement en R&D des entreprises

Cette section présente les principaux enseignements, à la fois théoriques et empiriques, de l'abondante littérature académique qui s'est développée depuis le milieu des années 1950 sur les liens entre la croissance économique et les investissements en R&D des entreprises.

2.1. Quelques repères théoriques, empiriques et politiques

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de rappeler que les investissements dans la recherche, qu'ils soient réalisés et financés par les entreprises ou par l'État à travers les laboratoires de recherche publics, les partenariats publics/privés, et les différents dispositifs d'aide à la recherche privée avec les subventions directes ou les crédits d'impôt recherche comme le CIR en France, ne représentent qu'un élément, dans tous les moyens et les phénomènes conduisant à l'innovation et à la performance économique des entreprises et des pays. Les investissements dans la recherche fondamentale et appliquée, dans la mise au point et le développement des technologies, sont bien l'élément central qui a été à l'origine de toutes les innovations majeures du vingtième siècle, comme par exemple l'invention de l'électricité, celles du transistor, des premiers ordinateurs et de l'internet, le développement des nano- et des biotechnologies aujourd'hui et peut-être l'apparition des premiers ordinateurs quantiques demain. Mais dans la société de services qui est la nôtre aujourd'hui, le lien entre innovation et investissement dans la recherche est devenu moins direct et moins prééminent. Par exemple, la révolution des technologies de l'information et de la télécommunication (TIC) qui a débuté dans les années 1980-1990, et ses développements récents dans le domaine de l'intelligence

artificielle, sont en train de transformer complètement les façons de concevoir, de fabriquer, de commercialiser et de consommer les produits, à partir d'investissements dans des actifs intangibles autres, et/ou complémentaires à la R&D. Les entreprises du secteur industriel restent bien à l'origine des principales innovations technologiques en exploitant les droits de propriété intellectuelle, les brevets et les licences, qui viennent récompenser les investissements en R&D, mais la majeure partie des innovations aujourd'hui est de nature immatérielle et/ou organisationnelle, et réalisée par les secteurs de services. On pense, par exemple, aux innovations réalisées par les entreprises des secteurs dits créatifs et culturels ou reliées à des activités comme l'Édition et le Logiciel, l'Audiovisuel et la Diffusion, l'Informatique et les services d'information, les Autres activités spécialisées scientifiques et techniques, les Arts, le Spectacle et activités récréatives, ou encore à toutes les innovations mises en place dans l'Enseignement, la Santé, les Activités financières et d'assurance, la Distribution, etc. Les innovations sont ainsi partout dans les services, et si les investissements en R&D contribuent bien à les produire, celles-ci passent pourtant davantage par des investissements dans la formation pour accompagner les changements organisationnels et la transformation des tâches et des métiers, par des investissements en logiciels et en matériel, les instruments scientifiques et le matériel informatique notamment, et par des investissements dans tout un ensemble encore d'actifs immatériels comme les design et les marques, etc.

Face à cette servicisation de l'économie, qui concerne également les entreprises industrielles puisque celles-ci réalisent une part croissante de leur chiffre d'affaires sous la forme de la vente de services et non plus sous la forme directe de biens⁷, le regard des économistes de l'innovation s'est alors penché progressivement sur l'innovation dans les secteurs de services, et plus particulièrement sur le rôle joué dans l'innovation par les achats de matériels innovants comme les TIC, et par des investissements en autres actifs intangibles que nous avons évoqués plus haut, comme les logiciels et la formation professionnelle. On peut, par exemple, au plan théorique considérer le concept de TIC comme celui d'une technologie générique ou « habilitante » introduit en 1995 par Bresnahan et Trajtenberg (1995), décrivant les complémentarités d'innovation entre les secteurs industriels qui investissent en recherche, et produisent les nouvelles technologies, ici les TIC, et l'ensemble des secteurs qui les

⁷ Sissons (2011) dans son étude intitulée « *More than making things* », appelle ainsi « manuserVICES » ces industries qui se sont « servicisées » et qui, pour paraphraser l'auteur, décrit un modèle de possession des biens où le consommateur ne détient pas un bien, mais paie un droit régulier pour le louer ou en dériver un service, impliquant une redistribution du risque entre l'acheteur et le vendeur, avec le producteur supportant plus du risque associé au produit et avec des contrats de services longs plutôt que des transactions ayant lieu en une fois. Dans ce modèle, les consommateurs sont également plus impliqués dans la conception et la fabrication des produits (fabrication sur mesure). Pour Sissons, en 2011 les entreprises manufacturières du Royaume-Uni généraient déjà 15 % à 20 % de leurs revenus en vendant des services, et les manu-services représentaient ainsi autour de 2 % du PIB. Il évalue la proportion des firmes qui ont « servicisé » en 2011 autour de 28 % au Royaume-Uni, loin derrière les États-Unis où cette proportion aurait été de 55 %.

achètent et les utilisent pour produire et innover à leur tour, en adaptant les nouvelles technologies à leurs besoins, au moyen de ces investissements complémentaires que nous venons de décrire. Les producteurs de technologies vont à leur tour réinvestir en R&D, pour adapter au mieux leurs technologies aux besoins des utilisateurs, terminant ainsi de former la boucle vertueuse entre secteurs producteurs et secteurs utilisateurs des nouvelles technologies décrite par Bresnahan et Trajtenberg (1995). Au plan empirique, des progrès importants sont en cours ou ont déjà eu lieu au niveau des bases de données pour mieux décrire l'innovation et les moyens utilisés pour innover dans les secteurs de services. On peut citer pour commencer l'extension de l'enquête européenne sur l'innovation (CIS) aux secteurs de services, à partir de sa sixième édition qui couvre la période 2006-2008, et qui suite aux recommandations de la troisième édition du manuel d'Oslo sur l'innovation de l'OCDE en 2005, donne plus de poids aux indicateurs relatifs aux innovations de type organisationnelle ou marketing, et qui inclut aujourd'hui des indicateurs pour quatre type d'innovations : de produit, de procédé, de marketing ou organisationnelle. Le CIS donne également beaucoup d'information sur les moyens utilisés par les entreprises pour innover, et son couplage avec des bases de données d'entreprises dans les nombreuses études sur l'innovation qui l'utilisent, a permis de fournir une description complète au niveau microéconomique de toute la chaîne allant des moyens utilisés pour innover, aux innovations, puis aux impacts des innovations sur la productivité, la croissance et les créations d'emplois des entreprises. Aux niveaux sectoriel et macroéconomique, le développement de la base de données EU-KLEMS à partir de 2003 a permis d'obtenir des indicateurs sur les investissements en TIC et en logiciels remontant à 1970 pour 34 industries, et à partir de 2015 la création de la base de données INTANinvest fournit des données débutant en 1995 sur les investissements en actifs intangibles des entreprises regroupées en dix secteurs d'activité. On trouve par exemple dans INTANinvest les investissements en R&D, en logiciels, en publicité, en design, en formation professionnelle et en compétences. Enfin il faut ajouter à ces sources de données les bases de données sur les brevets comme PATSTAT, qui permettent de décrire les inventions industrielles, et les enquêtes sur l'emploi, les conditions de travail et la formation professionnelle, pour mieux décrire par exemple les effets des innovations sur l'évolution des compétences.

Alors pourquoi nous limiter ici à l'analyse du seul lien entre les investissements en R&D des entreprises privées et leur performance en termes d'innovation et de croissance ? Et cette analyse est-elle pertinente car en se limitant à la R&D on focalise implicitement le regard sur les entreprises industrielles qui sont à l'origine de plus de 50 % de l'ensemble des investissements en R&D⁸ ? Enfin, en excluant de l'analyse les autres moyens utilisés par les entreprises pour innover, notamment par

⁸ Environ 54 % en 2018, alors que l'industrie ne représente en 2019 qu'environ 17 % du PIB.

celles des secteurs de services, on risque de surévaluer les effets des investissements en R&D sur la croissance économique, par exemple si ceux-ci sont corrélés positivement aux effets sur la croissance des autres facteurs d'innovation. Une étude de Lopez et Mairesse (2011) pour un panel de 20 pays de l'OCDE pour la période 1985-2004 trouve dans ce sens que l'élasticité de l'activité économique aux investissements en TIC est grandement modifiée à la baisse lorsque l'on inclut également dans la relation les investissements en R&D des entreprises, et *vice-versa*, confortant l'idée que ces deux types d'investissements seraient complémentaires. Ce résultat est conforté par le large spectre d'élasticités obtenues selon les pays, avec des élasticités plus fortes pour les TIC dans les pays qui investissent beaucoup en R&D, et inversement. Enfin, au niveau agrégé où est conduite l'étude, les élasticités de l'activité aux TIC qui sont estimées sont comprises entre 0,1 et 0,18, soit un intervalle similaire à celui obtenu pour les élasticités de la R&D, avec des valeurs comprises entre 0,07 et 0,18. En ce qui concerne les effets des investissements dans d'autres intangibles que la R&D, une étude de Corrado *et al.* (2014) qui ont établi la base de données INTANinvest qu'ils croisent avec la base de données EU-KLEMS, trouve que pour la période 1998-2007, les effets des investissements en TIC sur la productivité sectorielle dans les pays de l'Union Européenne est grandement renforcée lorsque leur complémentarité avec ces autres actifs intangibles est prise en compte dans l'analyse. Sur les effets spécifiques des investissements dans la formation professionnelle sur la productivité et la croissance, on peut citer par exemple une étude de O'Mahory et Peng (2010) pour les pays de l'Union Européenne à un niveau sectoriel, qui montre en combinant la base de données EU-KLEMS avec les données sur la formation issues de l'enquête européenne sur les forces de travail, un impact d'autant plus positif des investissements dans la formation sur la productivité que les investissements dans les TIC sont eux-mêmes élevés, avec également des effets très hétérogènes entre les secteurs de services et les secteurs industriels, pointant ainsi le rôle très important des changements organisationnels associés à la reformation permanente de la force de travail pour la diffusion des nouvelles technologies. Les études de Bresnahan *et al.* (2002) pour les États-Unis, de Crass et Peters (2014) pour l'Allemagne et de Crespi *et al.* (2007) pour le Royaume-Uni soulignent dans le même sens le rôle très important des investissements dans les technologies de l'information ou dans les autres matériels innovants pour provoquer les changements organisationnels et les investissements en capital humain, et pour tirer la productivité à la hausse.

Ces quelques exemples illustratifs des résultats de la littérature économétrique récente sur les complémentarités existant dans le processus d'innovation entre les investissements dans la R&D, dans les nouvelles technologies, dans la formation et dans d'autres catégories d'actifs intangibles, confirment ainsi bien, empiriquement, le cadre théorique proposé par Bresnahan et Trajtenberg dans leur article de 1995. Alors n'est-il pas trop restrictif, de limiter l'analyse ici aux seuls articles et études

centrés sur les liens entre les investissements en R&D des entreprises privées et la croissance économique ?

Pour finir de répondre à cette question tout d'abord d'un point de vue empirique, il faut souligner que la littérature appliquée sur les liens entre les investissements en R&D des entreprises et la croissance de la productivité est extrêmement riche. Elle a permis depuis les années 1950 avec la disposition des premières données de comptabilité nationale harmonisées suivant les travaux coordonnés par Richard Stones aux Nations Unies, et la mise en place des premières enquêtes sur la R&D dans de nombreux pays au cours de la même période, d'élaborer progressivement des méthodologies très robustes pour estimer les rendements, à la fois privé et sociaux, des investissements en R&D. Un élément central de ces travaux concerne ainsi la mesure des externalités de recherche, lesquelles, selon la distinction initiale de Zvi Griliches (1979), sont de deux types. Il y a d'un côté les externalités de connaissances (*knowledge externalities*), qui courent entre les entreprises qui réalisent les investissements en R&D, et qui vont accroître les rendements de la recherche dans le temps, à mesure que les connaissances scientifiques et technologiques se diffusent entre les entreprises et les chercheurs, et se banalisent. Il y a de l'autre côté les externalités de marché (*rent spillovers*), qui courent cette fois depuis les entreprises dans les secteurs qui inventent, développent et produisent les nouvelles technologies, vers les entreprises dans les secteurs qui les utilisent⁹. La prise en compte de ce second type d'externalités entre secteurs producteurs et utilisateurs des nouvelles technologies permet ainsi une prise en compte indirecte des effets des nouvelles technologies développées par les secteurs industriels, sur la productivité des secteurs qui les utilisent, notamment les services où des technologies comme les TIC vont avoir des effets importants sur la productivité même si les services investissent eux-mêmes très peu en R&D. Ce qui différencie les différentes études est ainsi surtout la façon dont elles prennent en compte ces externalités, et leur capacité à bien séparer, dans les estimations, la mesure des rendements privés de la recherche, de la mesure de ses rendements sociaux qui ajoute à ces rendements privés les rendements provenant à la fois des externalités émises par les autres entreprises, secteurs ou pays, et des investissements réalisés dans la recherche publique. Ainsi les études sur le lien entre investissements en R&D privée, productivité et croissance permettent, pour les plus élaborées, même si elles peuvent conduire à majorer les résultats, de donner des estimations satisfaisantes à la fois des taux de rendements privés et des taux de rendements sociaux de la recherche, dans les différents secteurs et dans les différents pays. C'est important, car les études étendant l'analyse à la prise en compte explicite des autres facteurs d'innovation que la R&D, que nous

⁹ L'importance de ces *rent spillovers* dépend de la structure de marché et de l'importance des « transferts de surplus » entre les secteurs qui produisent les nouvelles technologies et ceux qui les adoptent. Soulignons que ce ne sont pas de « vraies » externalités dans la mesure où elles transitent par des transactions de marché.

avons évoqués plus haut, sont beaucoup moins nombreuses en raison de la limitation des sources de données, ou utilisent des données de nature seulement qualitative ou semi-quantitative, comme l'enquête européenne sur l'innovation, qui ne permettent pas de représenter de façon satisfaisante les différentes formes d'externalités qui se forment entre les entreprises, les secteurs et les pays, ce qui limite leur capacité à fournir des estimations satisfaisante des rendements à la fois privés et sociaux des investissements en R&D des entreprises.

Du point de vue théorique maintenant, il faut commencer par rappeler que depuis les articles fondateurs de Solow et Swan en 1956 et l'élaboration du premier modèle de croissance néoclassique, la technologie et les externalités de connaissance qui lui sont associées ont toujours tenu un rôle central. La solution imaginée par Solow (1956) et Swan (1956) pour représenter la croissance du produit par tête a été d'introduire une tendance de progrès technique exogène dans le modèle, une solution qui présentait l'avantage, associée à la décroissance des rendements marginaux sur les facteurs de production traditionnels, le capital et le travail, d'assurer l'obtention d'un équilibre unique et stable de l'économie, et une croissance à taux constant du PIB par tête. En appliquant pour la première fois son modèle de croissance aux données américaine en 1957, Solow (1957) estima que 87,5 % de la croissance de la productivité du travail aux États-Unis entre 1909 et 1949 était attribuable au progrès technique exogène, le fameux « résidu de Solow ». Si cette étude majeure confirma le rôle du progrès technique comme véritable moteur de la croissance économique à long terme, pour Solow il faut comprendre avec le terme de progrès technique une « expression abrégée » pour tout changement intervenant dans la fonction de production¹⁰, comme l'amélioration des technologies de production bien entendu, mais également celle des infrastructures publiques, l'allongement de l'espérance de vie, les améliorations dans l'éducation et la formation de la main-d'œuvre, etc. L'idée générale est ainsi que tous les phénomènes qui peuvent générer des rendements croissants et améliorer la productivité des ressources économiques participe à ce qui a été appelé « changement technique » dans la littérature économique théorique. Le fait que les théories modernes de la croissance endogène aient privilégié les investissements en R&D des entreprises comme phénomène à l'origine des rendements croissants et de la croissance peut ainsi paraître restrictif, mais ne change rien analytiquement. Le résultat central dans tous les travaux sur la croissance, est ainsi qu'il est impossible de générer de la croissance par tête à long terme en l'absence d'externalités. C'est bien le cas, nous l'avons vu, avec les externalités de connaissances pures¹¹ que provoquent les

¹⁰ Pour citer Solow dans son article de 1957 : *"I am using the phrase 'technical change' as a shorthand expression for any kind of shift in the production function. Thus slowdowns, speed-ups, improvements in the education of the labor force, and all sorts of things will appear as 'technical change'".*

¹¹ Les externalités de marché que nous avons évoquées ne sont pas pour leur part de « vraies » externalités puisqu'elles transitent par des transactions pécuniaires sur les marchés.

investissements en R&D. Et le fait que les investissements en recherche aient toujours été perçus comme le principal moteur des avancées technologiques, et que les données en R&D soient disponibles depuis longtemps à un niveau de détail important, ont conduit naturellement à ce choix analytique. Tout autre facteur d'innovation, pourvu qu'il génère des externalités comme les investissements en capital humain qui provoquent également un accroissement général du savoir dans le temps, peut être préféré ou ajouté à l'analyse, mais ça ne change pas fondamentalement la principale conclusion théorique qui est qu'il est nécessaire de disposer d'externalités positives pour générer de la croissance à long terme. Le véritable débat qui a opposé les théoriciens s'est ainsi plutôt concentré sur la force de ces externalités. Pour les partisans de la croissance endogène celles-ci sont suffisamment fortes pour soutenir la croissance à long terme, et un dispositif de soutien à la R&D des entreprises comme le CIR, s'il exerce un effet de levier positif sur les investissements en R&D des entreprises, permet d'augmenter de façon permanente le taux de croissance de l'économie. Pour les partisans de la croissance semi-endogène au contraire, ces externalités sont trop faibles pour soutenir le taux de croissance de l'économie à long terme, et toute politique de soutien à la recherche et à l'innovation n'aura qu'un effet transitoire sur la croissance économique. C'est ainsi sur ce débat que nous allons centrer notre exposé sur ces nouvelles théories de la croissance.

Ayant refermé cette longue parenthèse qui a permis de resituer la discussion, nous allons maintenant présenter successivement les principaux résultats empiriques puis théoriques sur les liens entre les investissements en R&D des entreprises et la croissance économique. Du côté des résultats empiriques, nous allons nous limiter aux éléments essentiels pour l'évaluation des politiques de soutien à la recherche, qui sont la mesure des externalités de recherche, et celles des taux de rendement privés et sociaux des investissements en R&D des entreprises. Puis nous reviendrons, au plan analytique, sur ce débat qui continue à opposer les partisans de la croissance endogène à ceux de la croissance semi-endogène.

2.2. La mesure des rendements privés et des rendements sociaux des investissements en R&D dans la littérature économétrique

S'il ne fallait retenir que deux résultats des nombreuses études économétriques qui se sont développées depuis les années 1950 pour mesurer les rendements des investissements en R&D des entreprises, il y aurait tout d'abord les rendements « en excès » qui sont estimés pour ces investissements, par rapport aux rendements habituellement estimés pour le capital physique qui doivent sous l'hypothèse de concurrence pure et parfaite et de profit nul permettre tout juste de compenser le coût d'utilisation du capital. Or pour la R&D il n'est pas rare que les rendements marginaux estimés dépassent d'au moins deux à quatre fois le coût d'usage. On trouve dans la

littérature économique deux explications principales à ce résultat. La première est la nature risquée de la R&D que viendraient compenser des rendements élevés en cas de succès de ces investissements pour innover. La seconde est que la R&D n'est pas un bien de production ordinaire, puisque le principal résultat des investissements en recherche est la production de connaissances nouvelles. Or les connaissances scientifiques et technologiques, même si elles peuvent pour un temps être gardées secrètes ou être protégées par un brevet, deviennent vite un bien public comme l'a si bien décrit Arrow (1969). Il est ainsi impossible de s'approprier pleinement les résultats de sa propre recherche, ce qui ajoute au risque mais a surtout l'effet de produire des externalités intertemporelles de connaissances qui vont accroître la productivité de la recherche dans le temps et engendrer les rendements croissants à l'origine du processus de croissance. La conséquence de ces externalités de connaissances, et nous en venons au deuxième résultat, est que les rendements sociaux de la recherche sont eux-mêmes estimés généralement une fois et demie à deux fois supérieurs à ses rendements privés. L'existence de risque, la présence d'externalités et l'impossibilité pour les entreprises de s'approprier pleinement les résultats de leur recherche, conduisent ainsi à des défaillances de marché qui vont pousser les investisseurs privés à spontanément sous-investir en R&D par rapport à ce qui serait socialement optimal, justifiant en retour l'intervention publique pour soutenir les investissements en recherche des entreprises et maximiser ainsi le bien-être social. Alors comment sont mesurés les externalités de recherche et les taux de rendements privés et sociaux des investissements en R&D des entreprises qui vont permettre d'éclairer le décideur public pour la mise en place de ses politiques d'innovation ?

La mesure du taux de rendement privé des investissements en R&D

Nous commençons par introduire ici de premiers concepts en présentant comment sont généralement estimés les rendements privés des investissements en R&D dans les études économétriques. La démarche consiste principalement en une « extension » de la fonction de production des entreprises¹² au « facteur de recherche ». Dans cette fonction, le facteur de recherche est censé représenter le stock de « connaissances propres » accumulé par les entreprises au cours du temps, mesuré traditionnellement par la constitution d'un « stock de R&D » à partir de la méthode de l'inventaire perpétuel comme l'a proposé pour la première fois Griliches (1979)¹³. Si nous appelons R ce stock de R&D, nous avons alors :

$$(1) \quad R_t = (1 - \delta_r) \cdot R_{t-1} + IRD_t$$

¹² Ce peut être également la fonction de production de secteurs de production ou de pays selon le niveau d'analyse.

¹³ Comme le décrit Griliches (1979), implicitement les activités de R&D s'ajoutent au stock de connaissances déjà accumulé par les entreprises, permettant d'accroître la qualité de leurs produits ou de réduire leurs coûts de production et ainsi d'améliorer leur productivité.

avec δ_r le taux de dépréciation de la R&D, c'est-à-dire le taux d'obsolescence des connaissances ou des idées nouvelles qui est le plus souvent fixé à 15 % à la suite de Griliches (*ibid*), R_{t-1} le stock de connaissances hérité de la période précédente et IRD_t l'investissement en R&D réalisé au cours de la période courante.

En introduisant maintenant cette variable dans la fonction de production néoclassique on obtient la formalisation suivante :

$$(2) \quad Y_t = C \cdot K_t^{\alpha_k} \cdot L_t^{\alpha_l} \cdot R_t^{\alpha_r} \cdot e^{\theta_t \cdot t}$$

avec C un paramètre d'échelle, Y_t la variable mesurant le niveau d'activité, la valeur ajoutée généralement, ou le PIB selon le niveau d'analyse, K_t le stock de capital physique, L_t la quantité de travail utilisée et $e^{\theta_t \cdot t}$ la tendance de progrès technique exogène introduite initialement dans cette formulation de type Cobb-Douglas par Solow (1956) et Swan (1956).

La principale question empirique qui s'est posée sur la base de cette fonction est la valeur des paramètres α_k , α_l et α_r , mesurant l'élasticité de la production à l'augmentation respectivement du stock de capital physique, de la quantité de travail utilisée et du stock de R&D. Si la somme des trois élasticités est égale à 1, $\alpha_k + \alpha_l + \alpha_r = 1$, les rendements d'échelle de production sont constants, et tout l'accroissement de la productivité totale des facteurs de production dans le temps peut être attribué à la tendance de progrès technique exogène, $e^{\theta_t \cdot t}$, avec $\theta_t > 0$ mesurant le rythme d'augmentation du progrès technique exogène, c'est-à-dire la contribution du résidu du Solow à la croissance annuelle de l'activité économique. Par contre si la somme des trois élasticités est supérieure à l'unité, $\alpha_k + \alpha_l + \alpha_r > 1$, les rendements d'échelle de production sont globalement croissants, et une part au moins de la croissance la productivité totale des facteurs de production peut leur être attribuée.

Les estimations économétriques indiquant que le capital physique et le travail sont rémunérés à leur productivité marginale, on pose généralement dans l'analyse la valeur des paramètres d'élasticité de la production au travail et au capital physique égaux respectivement à la part du travail, s_l , avec $\alpha_l = s_l$, et à la part du capital physique, s_k , avec $\alpha_k = s_k$, dans le coût total de production. Reste alors à estimer les valeurs de α_r , l'élasticité de la production au stock de R&D, et celle du paramètre de progrès technique exogène, θ_t . Pour cela, en posant préalablement $\alpha_l = s_l$ et $\alpha_k = s_k$, comme le font les études de comptabilité de la croissance dans la veine de l'article de Solow de 1957, on peut s'appuyer sur l'équation (2) ci-dessus pour dériver l'expression suivante pour la croissance de la productivité totale des facteurs de production :

$$(3) \quad \frac{\Delta PTF_t}{PTF_{t-1}} = \alpha_r \cdot \frac{\Delta R_t}{R_{t-1}} + \theta_t$$

reliant la croissance de la productivité totale des facteurs de production à gauche, à la croissance du stock de R&D, avec l'élasticité α_r , et à celle du progrès technique exogène, avec l'élasticité θ_t , à droite. Dans cette équation, la croissance de la productivité totale des facteurs de production est en principe calculée en utilisant un indice de Törnqvist, soustrayant à la croissance annuelle de la production la contribution productive moyenne du capital et du travail entre les périodes t et $t-1$:

$$(4) \quad \frac{\Delta PTF_t}{PTF_{t-1}} = \frac{\Delta Y_t}{Y_{t-1}} - \bar{s}_{k_t} \cdot \frac{\Delta K_t}{K_{t-1}} - \bar{s}_{l_t} \cdot \frac{\Delta L_t}{L_{t-1}},$$

avec $\bar{s}_{k_t} = \frac{s_{k_t} + s_{k_{t-1}}}{2}$ et $\bar{s}_{l_t} = \frac{s_{l_t} + s_{l_{t-1}}}{2}$ les part moyennes du capital et du travail dans le coût de production entre t et $t-1$.

Il faut encore souligner, du point de vue méthodologique, que les dépenses de R&D correspondant pour l'essentiel à des dépenses en travail et en capital, il est préférable de « corriger » les mesures du stock de capital physique et de la quantité de travail utilisés dans la production des montants correspondant effectivement à des dépenses de R&D, autrement les élasticités estimées pour la R&D risquent d'être fortement biaisées à la baisse, comme l'ont montré Cunéo et Mairesse (1985). Du côté de la mesure de la production, si on utilise pour cela la valeur ajoutée, comme c'est le cas dans notre exemple, les investissements en R&D doivent également être ajoutés à la production au risque de biaiser cette fois à la hausse la valeur de l'élasticité. Cette dernière correction est plus rare dans la littérature, mais elle est aujourd'hui systématique dans les données de comptabilité nationale depuis les changements de méthodologie introduit aux États-Unis en 2012 et en Europe en 2014 pour comptabiliser la R&D dans le PIB et dans la mesure de la valeur ajoutée sectorielle.

Ces possibilités de biais dans les estimations précisés, les principaux enjeux aux plans empirique et analytique vont être de déterminer si les investissements en R&D ont comme pour le capital physique des rendements « normaux », c'est-à-dire permettant au mieux de tout juste compenser le coût d'usage du stock de R&D, ou alors s'il existe des rendements « en excès » des investissements en R&D, qui en font un facteur de production non ordinaire. Si la R&D est rémunérée à son coût marginal et est un facteur de production ordinaire, la valeur estimée pour l'élasticité α_r doit ainsi être proche de la part de la R&D dans le coût total de production, s_r , avec $\alpha_r = s_r$. Par contre si la valeur de l'élasticité est significativement supérieure à la part de la R&D dans le coût total de production, c'est qu'il s'agit d'un facteur de production non ordinaire permettant de générer des rendements d'échelle croissants, et potentiellement d'influencer positivement le taux de croissance de l'économie.

Au niveau des concepts maintenant, et pour clarifier encore l'exposé, il faut souligner qu'il existe une relation directe entre la valeur de l'élasticité α_r et la mesure du taux de rendement des investissements en R&D. Si on pose pour simplifier le prix de la production égal à 1 on peut, en dérivant l'équation 2 par rapport au stock de R&D, calculer le taux de rendement brut, c'est-à-dire avant dépréciation, du dernier euro investi dans la R&D, comme l'a défini initialement Terleckyj (1974) :

$$(5) \quad \rho R_t^B = \frac{\partial Y_t}{\partial R_t} = \alpha_r \cdot \frac{Y_t}{R_t}.$$

Nous voyons immédiatement que ce taux de rendement brut, ρR_t^B , est une fonction positive de la valeur de l'élasticité α_r , et inversement proportionnelle de l'intensité de R&D mesurée ici par le ratio $\frac{R_t}{Y_t}$. Cette relation inverse entre l'intensité de R&D des entreprises, des secteurs ou des pays que fournit l'équation 5 est *a priori* contre-intuitive, laissant à supposer que les rendements de la recherche seraient supérieurs pour les entreprises qui réalisent elles-mêmes peu de recherche. Mais le raisonnement théorique voudrait plutôt que les rendements marginaux de la recherche tendent à s'égaliser dans les différentes activités économiques et dans les différents pays, ce qui suppose que l'élasticité de l'activité au stock de R&D, α_r , soit elle-même une fonction croissante de l'intensité en R&D. Ce point est ainsi un élément central que les études économétriques ont visé à confirmer. On définit ensuite, toujours d'après Terleckyj (*ibid*), le taux de rendement net, ρR_t^N de la R&D comme le taux de rendement brut auquel on retranche le taux de dépréciation annuel du stock de R&D :

$$(6) \quad \rho R_t^N = \rho R_t^B - \delta_r.$$

Nous voyons que si le taux de déclassement de la R&D n'influence pas la mesure du taux de rendement brut, la valeur du taux de rendement net est cette fois directement dépendante de l'hypothèse retenue sur le taux de déclassement dans les études. La valeur de 15 % proposée par Griliches (1979) pour le taux de déclassement semble toutefois assez robuste. Hall *et al.* (2009) rapportent dans ce sens, page 17, que les chercheurs ont essayé par bien des moyens d'estimer ce taux de déclassement, par exemple en étudiant le renouvellement des droits de brevets, en procédant à des estimations directes de ce taux, ou encore en utilisant la théorie du q de Tobin pour l'estimation de la valeur de marché des entreprises innovantes. D'autres expérimentations ont montré que la valeur de l'élasticité de l'activité au stock de R&D était très peu modifiée par l'hypothèse retenue sur le taux de déclassement pour construire ce stock, pour des valeurs comprises entre 8 % et 23 %, ce qui a fini de valider cette valeur moyenne de 15 %.

Il est utile finalement de souligner, avant d'en venir à la présentation des résultats d'estimation, qu'il existe une relation directe, entre les valeurs de ces taux de rendements brut et net, et deux autres

indicateurs très utilisés pour évaluer l'efficacité des politiques d'aides à la recherche que sont le « multiplicateur » et le taux de rendement interne. Le multiplicateur mesure le rapport entre l'intégrale des gains, de valeur ajoutée ou de PIB, provoqués directement par les soutiens publics à la recherche, et l'intégrale des soutiens publics à la recherche sur la même période. Par exemple, si l'on retient un effet de levier moyen de 1 du CIR sur les investissements en R&D (Cf. *infra*), un taux de déclassement de 15 % par an du stock de R&D et un taux de rendement marginal brut de 15 % des investissements dans la recherche provoqués par le dernier euro versé au titre du CIR, on obtient un revenu total, RT égal à :

$$(7) \quad RT = 0,15 \cdot \sum_{s=t}^{+\infty} (1 - 0,15)^s = 1.$$

Dans ce cas, le revenu total généré par le dernier euro versé au titre du CIR est égal à 1. La valeur du multiplicateur, c'est-à-dire le rapport entre le revenu total, RT , et ce dernier euro versé, est également égale à 1. Donc, dans notre exemple, pour un taux de rendement marginal brut du dispositif de 15 %, c'est-à-dire exactement égal au taux de déclassement du stock de R&D, le taux de rendement marginal net est nul, le multiplicateur vaut 1, et le taux de rendement interne du dispositif, c'est-à-dire le taux d'actualisation qui annulerait le bénéfice du dispositif, est également nul. Ainsi, on retrouve bien par ce calcul comptable le résultat précédent (équation 6) : tant que le taux de rendement marginal brut du dispositif est inférieur au taux de déclassement, le taux de rendement marginal net est négatif et le dispositif n'est par définition pas rentable. Si cette fois le taux de rendement marginal brut est de 30 %, le rendement total du dispositif est doublé par la formule précédente, c'est-à-dire égal à 2 tout comme la valeur du multiplicateur, et le taux de rendement marginal net, toujours égal au taux de rendement interne du dispositif, est cette fois de 15 %. Pour obtenir une valeur de multiplicateur comprise entre 3 et 6, un intervalle habituel pour les politiques de soutien à la R&D des entreprises (Cf. *infra*), il faut ainsi une valeur du taux de rendements marginal brut comprise entre 50 % et 95 %, et une valeur du taux de rendement marginal net comprise entre 35 % et 80 %, correspond également aux bornes de l'intervalle pour le taux de rendement interne.

Au niveau maintenant des résultats des études économétriques¹⁴, nous trouvons la confirmation que la valeur des élasticités de l'activité au stock de R&D des entreprises, α_r , augmente avec le niveau de l'intensité en R&D, suggérant que le taux de rendement marginal de la recherche tend à s'égaliser entre les entreprises, les secteurs et les pays, qui sont analysés. Par exemple en 1984 Griliches et Mairesse (1984) avaient déjà obtenus pour les États-Unis des élasticités significativement plus fortes,

¹⁴ Dans les études la tendance temporelle mesurant le progrès technique « exogène », c'est-à-dire la part de la croissance de la productivité « non expliquée » par les investissements en recherche, est le plus souvent supprimée, le paramètre associé étant le souvent proche de zéro et « non significatif » au sens statistique.

d'environ 0,20, pour les entreprises des secteurs impliqués dans la recherche de base (« *scientific firms* », par rapport aux élasticités estimées pour les entreprises des autres secteurs (« *other firms* »), avec une élasticité plus proche de 0,10. Verspagen (1995) montrait de façon similaire, pour un panel d'entreprises des pays de l'OCDE, que les investissements en R&D ont un effet significatif sur l'activité pour les entreprises des secteurs de haute technologie (« *high-tech firms* »), mais pas pour celles avec un niveau technologique seulement moyen (« *medium-tech firms* ») ou bas (« *low-tech firms* »). Des résultats similaires sur le lien positif entre la valeur de l'élasticité de l'activité aux investissements en R&D des entreprises et le niveau de leur intensité en R&D ont été trouvés par Harhoff (1998) pour les entreprises allemandes, Kwon et Inui (2003) pour les entreprises japonaises, Wang et Tsai (2004) pour les entreprises taïwanaises et Hernandez *et al.* (2011) pour les entreprises de l'Union Européenne. Plus récemment, une étude de Kancs et Siliverstovs (2016) a permis de généraliser ce résultat pour un panel très important d'entreprises de l'OCDE¹⁵, en utilisant une méthodologie¹⁶ permettant une estimation directe de la relation entre la valeur de l'élasticité de l'activité aux investissements en R&D et le niveau de l'intensité en R&D, alors que dans les études précédentes la méthodologie reposait sur la comparaison des résultats obtenus pour des groupes d'entreprises avec des investissements en R&D d'intensité différente. Les auteurs montrent que :

1. En moyenne, les investissements en R&D augmentent la productivité des entreprises avec une élasticité de 0,15 ;
2. L'impact de ces investissements sur la productivité des entreprises est différent selon le niveau de l'intensité en R&D, avec des élasticités comprises entre -0.02 pour des niveaux faibles de l'intensité de R&D, à plus de 0,33 pour les niveaux d'intensité les plus élevés, impliquant que la relation entre R&D et productivité est « hautement » non-linéaire, et que c'est seulement après qu'une « masse critique » de connaissances ait été accumulée par les entreprises, que leur productivité est améliorée significativement par les investissements en R&D ;
3. Il existe d'importantes différences intersectorielles dans la relation entre R&D et productivité et non seulement les entreprises de haute technologie investissent beaucoup en recherche, mais ce sont également elles qui en retirent les bénéfices les plus importants en termes de gains de productivité.

¹⁵ La principale source de données utilisée par les auteurs est le tableau de bord de « l'Union Européenne sur les investissements en R&D des entreprises industrielles, qui couvre plus de 750 entreprises de l'UE et d'autres pays de l'OCDE.

¹⁶ Les auteurs utilisent la méthode généralisée des coefficients de propension (GPS) proposée par Hirano et Imbens (2004).

Ces résultats de Kancs et Siliverstovs (*ibid*) confirment ceux de la très riche revue de littérature de Hall *et al.* (2009, *ibid*) sur le lien entre R&D et productivité, qui montre en résumé que :

1. L'élasticité de la productivité aux investissements en R&D des entreprises est comprise entre 0,01 et 0,23, mais centrée autour de 0,08 ;
2. Les élasticités de l'activité à la R&D sont élevées et « excèdent » entre deux et quatre fois la part de la R&D dans le coût de production des entreprises, compris en moyenne entre 2 % et 4 % de la valeur ajoutée ;
3. Les taux de rendements privés nets de la R&D sont très supérieurs à ceux estimés généralement pour le capital physique et d'une magnitude de l'ordre de 20 % à 30 % ;
4. Les élasticités de l'activité à la R&D sont corrélées positivement à l'intensité de R&D, comme l'avait déjà illustré Griliches (1980) en 1980, et comme le confirment les résultats des études citées plus haut ;
5. Enfin, les taux de rendement marginaux de la R&D tendent bien à s'égaliser entre les secteurs, ce qui est une conséquence des deux points précédents.

Deux méta-analyses viennent confirmer les résultats précédents sur la « taille » des élasticités de la productivité à la R&D. Celle de Donselaar et Koopmans¹⁷ (2016) rapporte une élasticité moyenne de l'activité à la R&D de 0,11, et celle de l'OECD (2015), qui résume les résultats de 200 études, évalue cette élasticité à 0,12. Sur la différence de taille des élasticités entre firmes, secteurs et pays, l'étude d'Ortega-Argilès (2015) qui trouve des élasticités plus élevées pour les entreprises des secteurs de haute technologie, confirme les résultats de Kancs et Siliverstovs (*ibid*), et ce résultat qu'il faut investir soi-même beaucoup en R&D pour obtenir des impacts significatifs sur la productivité est également valable pour les pays, comme l'avaient montré initialement Coe et Helpman (1995).

L'ensemble des résultats que nous venons de présenter souligne ainsi la valeur élevée des élasticités de la productivité et de l'activité des entreprises à leurs investissements en R&D, avec une valeur moyenne proche de 0,1. La valeur relative estimée pour cette élasticité entre les entreprises est une fonction croissante de l'intensité en R&D, traduisant ainsi une tendance à l'égalisation des rendements marginaux de la R&D entre les entreprises, les secteurs et les pays. A cette élasticité moyenne de 0,1, sont associés des rendements marginaux nets de la R&D de l'ordre de 20 % à 30 %, soit environ 2 à 4

¹⁷ L'étude est basée sur 28 études économétriques réalisées après 1980 et qui incluent les estimations de 1214 élasticités l'activité à la R&D. 17 sont des études au niveau de l'entreprise, 7 des études au niveau sectoriel et 15 des études réalisées au niveau macro-économique, dont une dans la dimension macro-sectorielle.

fois ce que l'on obtiendrait si la R&D était rémunérée à son coût marginal, comme c'est généralement le cas pour le capital physique.

Mais ces premières conclusions des études économétriques appellent plusieurs remarques conduisant à relativiser leurs résultats.

La valeur du taux de rendement privé de la R&D estimée dans les études peut être biaisée à la hausse de façon importante si l'analyse ne prend pas en compte le rôle joué par les externalités de recherche. L'aspect risqué des activités de R&D peut bien expliquer une partie de l'écart entre les rendements privés estimés et ceux que l'on obtiendrait si la R&D était rémunérée à un taux de rendement « normal », mais comme le soulignent Hall *et al.* (2009, *ibid*), cet écart est surtout le signe qu'il y a des externalités de connaissance qui poussent les élasticités et les taux de rendements mesurés à la hausse. Par exemple les études passées en revue par Hall *et al.* (2009, *ibid*), Donselaar et Koopmans (2016, *ibid*) et d'Ortega-Argilès (2015, *ibid*) montrent toutes que la valeur des élasticités estimées chute drastiquement lorsque les externalités entre les entreprises et/ou les pays sont prises en compte dans l'analyse.

Si les taux de rendement privés estimés ont des valeurs élevées, celles-ci restent très inférieures à celles des taux de rendement sociaux des investissements en R&D habituellement estimés, qui sont de l'ordre de 50 % à 100 %.

Finalement, et pour paraphraser Cameron (1998), ce qui différencie les études entre elles est ainsi surtout la mesure dans laquelle elles ont tenté de prendre en compte dans l'analyse les différentes formes d'externalités de recherche, et de séparer de la mesure des rendements privés des activités de R&D, celle de ses rendements sociaux.

Les mesures des externalités de recherche et du taux de rendement social de la R&D

A côté de la mesure du taux de rendement privé, la littérature économétrique s'est également abondamment penchée sur le rôle joué par les externalités de recherche et sur la mesure du taux de rendement social de la R&D. Nous rappelons que les externalités de recherche, qu'il s'agisse, selon la distinction de Griliches (1979, *ibid*), d'externalités de connaissances (*knowledge spillovers*) ou d'externalités de marché (*rent spillovers*), ont pour effet de conduire à des rendements sociaux de la recherche supérieurs à la mesure de ses rendements privés. Quel que soit le concept d'externalité considéré, l'idée commune est la distinction entre la R&D qui est « exécutée » et la R&D qui est « acquise », ou dit autrement, entre les connaissances « internes » et les connaissances « externes », ou encore entre le stock de R&D « propre » et le stock de R&D « externe ».

Le stock de R&D « externe » se mesure habituellement comme une somme pondérée des stocks de R&D extérieurs à l'entreprise, au secteur ou au pays considéré dans l'analyse, comme dans l'équation suivante :

$$(8) \quad S_{it} = \sum_{j \neq i} \omega_{ji} \cdot R_{jt}$$

où les poids ω_{ji} sont des paramètres de « diffusion » proportionnels à quelque mesure de proximité entre les entreprises, les secteurs ou les pays i , qui reçoivent les externalités, et les entreprises, les secteurs ou les pays j , qui les émettent. La façon de construire ces « poids » a pris des formes variées dans la littérature, en fonction de la nature des externalités à mesurer et des méthodologies disponibles. Pour les externalités de marché, qui transitent par des transactions pécuniaires, le plus naturel a été ainsi d'utiliser des métriques basées sur des mesures de transaction, comme dans l'étude originale de Terleckyj (1980) qui utilise comme poids les coefficients des matrices d'échanges interindustriels. La mesure des externalités de connaissances est plus problématique. Il ne s'agit plus d'externalité « verticales » incorporées aux biens, comme entre industries aéronautiques et compagnie aériennes, ou entre l'industrie informatique et l'industrie bancaire, mais d'externalités « horizontales » désincorporées. Cette fois, la méthodologie la plus utilisée a consisté à construire des matrices mesurant la « proximité » entre les activités d'innovations des entreprises des différents secteurs et des différents pays, comme l'a proposé pour la première fois Jaffe (1986). Les études les plus récentes utilisent aujourd'hui les techniques de citations de brevets qui se sont développées à la fin des années 80 avec l'essor de l'informatique, permettant, comme l'explique Trajtenberg (2001), de retracer les externalités de connaissance rattachées à chaque brevet dans les dimensions intra sectorielle, intersectorielle et internationale en même temps. Les techniques de citation de brevets permettent également, à la suite des travaux de Scherer (1982), de construire des matrices de « transferts technologiques », où les poids retracent cette fois les transferts de connaissances entre les secteurs qui réalisent les investissements dans la recherche et développent les nouvelles technologies, et ceux qui les utilisent. Nous voyons que cette dernière forme de matrices, qui retracent les transferts de technologies entre secteurs, comme les matrices d'échanges interindustriels, mais également les échanges de connaissances entre entreprises, comme les matrices de proximité technologique, représente une forme intermédiaire qui peut être intéressante dans la mesure où si les deux types d'externalités, de marché et de connaissance, sont bien distinctes conceptuellement, elle sont le plus souvent très difficiles à séparer empiriquement. Les externalités de marché et de connaissance sont en effet pour une large part concomitantes, comme dans l'industrie informatique qui achète une part importante de ses intrants à l'industrie électronique et peut également, ce faisant, emprunter une part importante de ses idées à cette dernière, à l'image de l'industrie pharmaceutique avec l'industrie chimique.

Pour en venir maintenant à la mesure de la contribution des externalités de recherche à la croissance de la productivité des entreprises, des secteurs ou des pays, l'approche la plus couramment utilisée a encore une fois été d'introduire ce dernier dans la fonction de production néoclassique :

$$(9) \quad Y_t = C \cdot K_t^{\alpha_k} \cdot L_t^{\alpha_l} \cdot R_t^{\alpha_r} \cdot S_t^{\alpha_s} \cdot e^{\theta_t \cdot t}$$

avec comme précédemment (équation 2) C le paramètre d'échelle, Y_t la variable mesurant le niveau d'activité, K_t le stock de capital physique, L_t la quantité de travail utilisée, R_t , le stock de recherche, et $e^{\theta_t \cdot t}$ la tendance de progrès technique exogène. La nouveauté vient de l'introduction de la variable S_t dans l'équation (9), construite d'après l'équation (8) ci-dessus, et dont les poids sont obtenus à partir de matrices de transaction, de proximité technologique ou de transferts technologiques. De la même façon que l'élasticité α_r mesure la contribution productive du « stock de R&D propre », l'estimation économétrique de l'élasticité α_s va permettre de mesurer la contribution productive du « stock de R&D externe ». Puis de la même manière que l'on déduit de la valeur de l'élasticité α_r les taux de rendements privés brut et net des investissements dans la recherche, par les équations (5) et (6) ci-dessus, l'estimation de l'élasticité α_s va nous permettre de calculer similairement son taux de rendement social. On peut ainsi définir le taux de rendement social net des investissements dans la recherche, ρR_t^S , en ajoutant au rendement privé (le bénéfice revenant sous la forme d'une augmentation de sa TFP ou de sa production, $\frac{\partial Y_{it}}{\partial R_{it}}$, à l'entreprise, au secteur ou au pays i qui accroît son investissement dans la recherche) la somme des rendements pour tous les receveurs des externalités que cet investissement va engendrer ($\sum_{j \neq i} \frac{\partial Y_{jt}}{\partial S_{jt}} \cdot \frac{\partial S_{jt}}{\partial R_{jt}}$). En prenant également en compte le taux de dépréciation de la R&D, δ_{ri} , on obtient finalement :

$$(10) \quad \rho R_t^S = \frac{\partial Y_{it}}{\partial R_{it}} + \sum_{j \neq i} \frac{\partial Y_{jt}}{\partial S_{jt}} \cdot \frac{\partial S_{jt}}{\partial R_{jt}} - \delta_{ri}$$

ce qui peut s'écrire également (en fonction des paramètres α) :

$$(11) \quad \rho R_t^S = \alpha_{ri} \cdot \frac{Y_{it}}{R_{it}} + \sum_{j \neq i} \alpha_{sj} \cdot \frac{R_{jt}}{S_{jt}} - \delta_{ri}$$

Ces définitions posées, nous voyons que le taux de rendement social qui est mesuré augmente avec le nombre de receveurs potentiels d'externalités (le nombre d'entreprises, de secteurs, de pays) qui est considéré, comme c'est apparent dans le Tableau 1 qui résume à titre illustratif les résultats d'études qui estiment à la fois les taux de rendements de la « R&D propre » et de la « R&D externe » - comme par l'équation (9) ci-dessus. Dans le tableau, les deux taux de rendement varient également de façon très importante selon les études. Le taux de rendement de la R&D propre est estimé dans un intervalle entre 7 % et 56 %, mais centré entre 10 % et 20 % dans la plupart des études, avec une moyenne de

28 %. Pour la R&D externe, comme nous l'avions annoncé les taux de rendement dépassent le plus souvent les taux de rendement privé de 50 % ou 100 %. Ils s'élèvent en moyenne à 45 % pour les 12 études considérées dans le tableau, soit 1,6 fois plus que le taux de rendement privé moyen. La méta-analyse de Donsellar et Koopmans (2016, *ibid*) qui compare les élasticités de l'activité à la R&D propre et à la R&D externe de 38 études au niveau « micro », « meso » et « macro », avec 1214 élasticités estimées, fournit des résultats similaires, avec une élasticité moyenne mesurée à 0,11 pour la R&D propre, et à 0,2 pour la R&D externe. Wieser (2005) qui analyse les résultats de plus de 50 études au niveau micro obtient également une valeur moyenne de 28 % pour le taux de rendement privé, et de 0,13 pour l'élasticité de l'activité à la R&D propre. Les taux de rendement et les élasticités qu'il obtient pour la R&D externe sont également, en moyenne, 50 % à 100 % supérieurs que pour la R&D propre, conduisant à des taux de rendement sociaux moyens des investissements dans la recherche¹⁸ (en additionnant les taux de rendements de la R&D propre et de la R&D externe) de l'ordre de « 90-100 % ».

Tableau 1 : Résumé des résultats d'études estimant à la fois les taux de rendement privé et sociaux de la recherche

<i>Étude</i>	<i>Échantillon</i>	<i>Période</i>	<i>Mesure des externalités</i>	<i>Taux de rendement de la R&D propre</i>	<i>Taux de rendement de la R&D externe</i>
Griliches-Lichtenberg (1984)	US, 193 ent. Indus.	1959-78	Flux technol.	11 % to 31 % (8 %)	50 % to 90 % (36 %)
Sterlacchini (1989)	UK, 15 ent. Indus.	1960-77	Transactions inter-indus. Flux d'innovations	12 % to 20 %	19 % to 20 % 15 % to 35 %
Goto-Suzuki (1989)	Japon, 50 ent. Indus.	1978-83	Transactions inter-indus.	26 %	80 %

¹⁸ Cette mesure du taux de rendement social de la recherche, en additionnant les taux de rendement de la R&D propre et de la R&D externe, reste ainsi une approximation du « vrai » taux de rendement social dont la définition est donnée par les équations (10) et (11).

Bernstein (1989)	Canada, 11 ent. Indus.	1963-83	Stocks de R&D des autres secteurs (pas de matrices)	24 % to 47 %	29 % to 94 % (social)
Bernstein-Nadiri (1989)	US, 4 industries	1965-78	Stocks de R&D des autres secteurs (pas de matrices)	7 %	9 % to 13 %
Mohnen-Lepine (1991)	Canada, 12 industries	1975, 77, 79, 81-83	Flux technol.	56 % (5 % to 275 %)	30 % (2 % to 90 %)
Wolff-Nadiri (1993)	US, 19 industries	1947, 58, 63, 67, 72, 77	Transactions inter-indus. (biens d'invest.)	11 % 11 %	14 % 0 %
Wolff-Nadiri (1993)	US, 50 industries	1947, 58, 63, 67, 72, 77	Transactions inter-indus. (biens d'invest.)	19 % 19 %	8 % 9 %
Bernstein-Yan (1997)	Canada and Japan, 10 industries	1964-82	Stocks de R&D des autres secteurs (pas de matrices)	17 % (Canada) 17 % (Japan)	62 % to 183 % (Canada) 9 % to 56 % (Japan)
Bernstein (1998)	Canada and US, 11 industries	1962-89	Stocks de R&D des autres secteurs (pas de matrices)	16 % (US) 13 % (Canada)	28 % to 167 % (US) 19 % to 145 % (Japan)
Bernstein-Mohnen (1998)	Canada and Japan, 11 industries	1962-86	Stocks de R&D des autres	44 % (US)	47 % (US)

			secteurs (pas de matrices)	47 % (Japan)	0 % (Japan)
Griffith-Redding-van Reenen (2004)	OECD, 12 industries, 12 countries	1974-90	Écart à la frontière technologique par industrie (pas de matrices)	47 % to 67 %	57 % to 105 %
Les 12 études	-	-	-	28 %	45 %

C'est ainsi à l'aune de ces taux de rendements sociaux moyens de la littérature économétrique sur la R&D qu'il convient d'apprécier ceux qui sont estimés dans cette étude pour les fonds publics distribués après 2007 au titre du renforcement du dispositif du CIR.

2.3. L'efficacité de l'action publique dans les nouvelles théories de la croissance

Au plan théorique, le rôle majeur des externalités de connaissance dans le processus de croissance, qu'a mis en évidence la littérature économétrique sur la R&D, a conduit en quelques années, entre la deuxième moitié des années 1980 et la fin des années 1990, à de profondes modifications du modèle de croissance néo-classique hérité du modèle initial de Solow (1956, *ibid*) et de Swan (1956, *ibid*), connues sous le nom des Nouvelles théories de la croissance (NTC).

La principale différence entre les NTC par rapport au consensus néo-classique qui s'était établi précédemment dans les années 1960 avec le modèle RCK¹⁹, vient du rôle que les différents auteurs ont attribué à l'investissement et aux externalités comme source de la croissance. Cette divergence a par exemple été au cœur de la polémique qui a opposé en juin 1996 Dale Jorgenson, un ardent défenseur du modèle RCK, à Gene Grossman, un éminent représentant des NTC, à l'occasion d'une

¹⁹ Le modèle RCK fait référence à Ramsey (1928), Cass (1965) et Koopmans (1965), qui d'après la formulation originale de Ramsey (1928, *ibid*), on introduit dans le modèle de croissance néo-classique initial de Solow-Swan, des décisions de consommation et d'épargne endogènes avec anticipations parfaites, alors que le taux d'épargne était initialement exogène dans le modèle. La conséquence a été de faire correspondre le modèle ainsi complété avec l'équilibre général et, en l'absence de défaillances de marché dans le modèle, avec l'optimum social de Pareto auquel conduit les décisions décentralisées des agents dans ce cadre conceptuel.

conférence organisée par le Banque fédérale de Boston, sur le thème de la technologie et de la croissance²⁰.

Ainsi pour Dale Jorgenson (1996), le modèle RCK est très efficace pour analyser des sentiers de croissance à taux constant, à l'image des faits stylisés qu'avait décrit Kuznets (1971) pour les États-Unis et les économies avancées. La contribution du résidu de Solow à la croissance dans le modèle, qui regroupe tous les facteurs exogènes qui influencent la productivité, comme les externalités technologiques, est ainsi passée de 87,5 % en 1956, quand Solow écrivait son article, à moins de 17 % en 1996, en raison des améliorations qui ont été introduites en comptabilité de la croissance pour mieux mesurer les améliorations qualitatives des biens capitaux et de la main-d'œuvre utilisés dans la production. Ainsi, pour Jorgenson, ces développements méthodologiques ont permis de gommer, ou tout au moins de réduire, les différences existant entre les modèles RCK et NTC : « L'accumulation du capital physique et du capital humain, correctement mesurées, restent les principaux déterminants de la croissance économique, et heureusement, un nouveau consensus empirique, sur la croissance, ne requerrait qu'une réinterprétation relativement modeste du cadre néoclassique établi par Solow (1956, *ibid*, 1970, 1988), Cass (1965, *ibid*) et Koopmans (1965, *ibid*) », (Jorgenson, 1996, *ibid*).

Mais pour Gene Grossman, Jorgenson rend la question confuse en assimilant ainsi les « sources de la croissance » avec l'« endogénéisation de la croissance ». Ainsi, « Une procédure comptable qui attribue la croissance de l'activité à l'investissement n'a pas endogénéisé la croissance, à moins que les facteurs qui provoquent les incitations à l'investissement ne soient eux-mêmes expliqués », (Gene Grossman, 1996). Bien au contraire de la position de Dale Jorgenson, pour Gene Grossman, « Le modèle néo-classique de croissance avec ses hypothèses « inhérentes » de rendements d'échelle constants et de concurrence pure et parfaite, est inadapté pour étudier l'innovation. Les investissements dans la connaissance sont des investissements irrécupérables qui impliquent naturellement des rendements d'échelle croissants dans la production. Les entreprises récupèrent ces coûts fixes en chargeant des prix supérieurs aux coûts marginaux de production. « Ainsi, il n'existe que peu de choix à part étudier l'innovation dans une cadre permettant de la concurrence imparfaite, en dépit des ambiguïtés que cela suppose pour la conduite de la politique économique », (Gene Grossman, 1996, *ibid*).

La spécificité de la connaissance, comparée aux autres biens économiques est en effet liée à l'existence des rendements d'échelle importants que provoquent les investissements dans la connaissance, avec pour conséquence directe la création de rentes de monopoles. La concurrence n'est désormais plus entre des entreprises produisant des biens homogènes aux caractéristiques identiques, mais entre

²⁰ « Technology and Growth ».

entreprises produisant des biens différenciés et se faisant concurrence pour des rentes de monopole. La spécificité de la connaissance est également qu'elle a les caractéristiques d'un bien public. Il est coûteux de produire de nouvelles connaissances, mais une fois produites elles peuvent être réutilisées indéfiniment à coût marginal nul. L'accumulation des connaissances est potentiellement illimitée, conduisant à une succession de nouveaux produits et services, de nouveaux procédés de fabrication et formes d'organisation, avec également de nouveaux monopoles succédant aux anciens en raison de la concurrence et de la destruction créatrice. Il y a encore de la concurrence, mais ce n'est plus celle qui prévaut dans la représentation de la croissance de Solow.

Les défis et les implications que les externalités de connaissance posent à la représentation théorique de la croissance sont ainsi nombreux. Dans le modèle RCK, la croissance du produit par tête est stoppée à terme par la loi des rendements décroissants du capital qui conduit à une augmentation des coûts de production marginaux et à l'arrêt de l'accumulation du capital. La solution imaginée par Solow (1956, *ibid*) et Swan (1956, *ibid*) a été d'introduire du progrès technique exogène dans le modèle, une solution qui présente l'avantage, en commun avec la loi des rendements marginaux décroissants sur les facteurs de production ordinaires, d'assurer un équilibre unique et stable, et un taux de croissance constant du produit par tête. Mais en excluant de l'analyse le processus qui génère le progrès technique, le modèle a cependant très peu à nous apprendre sur les forces économiques à la source de la croissance.

Pour réformer ce modèle RCK l'approche suivie par les NTC a ainsi été d'endogénéiser le progrès technique. Sans entrer ici dans le détail des différents modèles, nous nous contenterons de montrer comment chaque modèle améliore, complète ou généralise les autres. Nous centrerons également la présentation sur un ensemble de deux équations, que comme Romer (1986) nous appelons les fonctions $F(\cdot)$ et $G(\cdot)$, qui sont suffisantes pour résumer et comparer les propriétés de croissance endogène des différents modèles. Ainsi, dans ce cadre $F(\cdot)$ est la fonction de production du bien final, qui a, dans les différents modèles, la forme générique suivante :

$$(12) \quad Y_t = F(A_t, X_t),$$

avec X_t , un agrégat regroupant les facteurs de production traditionnels utilisés pour la production – le travail et le capital dans le modèle RCK –, et A_t le stock de connaissances utilisé pour produire, et qui est à la source des rendements croissants – comme le rôle joué par la tendance de progrès technique exogène dans le modèle de Solow.

On a le plus souvent :

$$(13) \quad Y_t = A_t \cdot X_t$$

et la fonction de production des connaissances a elle-même la forme générique suivante :

$$(14) \quad \Delta A_t = G(A_{t-1}, R_t),$$

où R représente les ressources qui sont investies dans la recherche, et A l'externalité intertemporelle de connaissances qui pousse la productivité de la recherche à la hausse. La combinaison des équations $F(.)$ et $G(.)$ détermine ainsi la relation entre l'effort de recherche, les innovations et la croissance du produit par tête dans l'économie. Les différents modèles de croissance, en incluant les modèles RCK, diffèrent finalement sur la façon dont ils spécifient les fonctions $F(.)$ et $G(.)$, ou sur la façon dont ils construisent la variable A . Pour les modèles NTC, comme nous le verrons, ce qu'ils ont en commun est d'introduire des fondements micro-économiques rigoureux pour endogénéiser le taux de croissance du progrès technique dans le modèle RCK, en redécoupant (généralement) les activités de production et d'innovation en trois secteurs distincts : (1) le secteur de la recherche, avec libre entrée et concurrence pure et parfaite, qui a pour rôle de produire les nouvelles connaissances ou idées ; (2) un secteur de biens intermédiaires en compétition monopolistique, qui introduit les innovations sur le marché, en exploitant commercialement les nouvelles idées produites par le secteur de la recherche ; (3) le secteur produisant le bien final, en concurrence pure et parfaite, qui utilise les nouveaux biens intermédiaires pour accroître sa productivité. Comme nous allons le voir, plusieurs générations et catégories de modèles se sont alors développées différant principalement sur la représentation « endogène » ou seulement « semi-endogène » de la croissance qu'ils retiennent, c'est-à-dire sur la possibilité des politiques de soutien à la R&I d'influencer de façon permanente, dans le cas de croissance endogène, ou seulement transitoire, dans le cas de la croissance semi-endogène, sur le taux de croissance de l'économie. Et c'est également dans une large mesure en fonction de cette opposition entre représentation endogène ou semi-endogène de la croissance que se distinguent les principaux modèles de macro-simulation, comme le modèle NEMESIS, qui sont utilisés par la Commission européenne pour l'évaluation de ses politiques de R&I.

La première génération de modèles NTC

Après des travaux pionniers de Romer (1986) et Lucas (1986) mais qui restaient des modèles à un bien et à un secteur en concurrence pure et parfaite, les véritables modèles précurseurs des NTC ont été introduit entre 1990 et 1992 par Romer (1990), Grossman et Helpman (1991) et Aghion et Howitt (1992). Ce que ces modèles avaient en commun, comme l'explique par exemple Verspagen (1992), a été d'introduire dans l'analyse une distinction claire entre les connaissances scientifiques et techniques « générales » d'un côté, et les inventions ou les « innovations technologiques » de l'autre. Les « connaissances générales », qui ne sont pas appropriables par les entreprises ou les personnes appartenant au secteur de la recherche et sont accessibles à tous, peuvent être assimilées à un produit-

joint de l'activité d'innovation. Au contraire, les inventions ou les innovations représentent des « connaissances spécifiques » résultant des investissements dans la recherche, qui peuvent être totalement appropriées, au moyen par exemple d'un brevet à durée de vie infinie,²¹ le propriétaire du brevet devenant un monopoleur, ou un oligopoleur, en fonction du type d'innovation ou de la structure de marché. « Ainsi, le problème du manque d'incitations pour produire du changement technique en présence de caractéristiques de bien public est résolu en faisant la distinction entre les connaissances technologiques générales (non appropriables) et les connaissances technologiques spécifiques (appropriables) » (Verspagen, 1992, *ibid*).

On distingue parmi cette première génération de modèles deux groupes qui se distinguent selon le type d'innovation qui y est représenté.

Il y a tout d'abord le modèle de différenciation horizontale introduit par Romer (1990, *ibid*), où les innovations reflètent l'introduction de nouvelles variétés de biens durables (ou capital) sur le marché. Dans ce modèle le taux de croissance de long terme de l'économie est soutenu par l'augmentation du nombre de biens intermédiaires disponibles pour produire le bien final. L'entreprise représentative qui produit le bien final a pour fonction de production :

$$(15) \quad Y_t = L_{Y_t}^\alpha \cdot \sum_{i=1}^{A_t} x_{it}^{1-\alpha}$$

avec L_{Y_t} la quantité de travail utilisée, A_t , le nombre de biens intermédiaires disponibles à la date t , et x_{it} , la quantité du bien durable i qui est utilisée. On voit que la fonction de production du bien final est de type Cobb-Douglas comme dans le modèle de Solow, avec cette spécificité que le stock de capital, $K_t = \sum_{i=1}^{A_t} x_{it}$, est la somme directe des quantités de biens intermédiaires qui sont utilisés. Comme dans le secteur intermédiaire z_t unités de bien final sont nécessaires pour produire x_{it} unités du bien durable i :

$$(16) \quad x_{it} = \eta \cdot z_t$$

avec η un paramètre de productivité positif, et comme à l'équilibre symétrique la quantité de chaque bien durable qui est produite est identique, $x_{it} = x$, on peut après avoir exprimé x en fonction du stock de capital agrégé ($x = \frac{K_t}{\eta \cdot A_t}$), réécrire la fonction de production du bien final de la façon suivante :

²¹ C'est une simplification que retiennent souvent par simplifications les modèles théoriques sur la croissance endogène, même si en réalité les brevets ont une durée de vie finie.

$$(17) \quad Y_t = F(A_t, L_{Y_t}, K_t) = A_t^\alpha \cdot L_{Y_t}^\alpha \cdot K_t^{1-\alpha} \cdot \eta^{\alpha-1}.$$

Nous voyons, comme l'explique Romer (1990, *ibid*) que le modèle se comporte exactement comme le modèle néoclassique de Solow où le progrès technique exogène augmente proportionnellement la productivité du travail et celle du capital. La principale différence est que cette fois le progrès technique est endogène dans le modèle et résulte de l'invention de nouveaux biens intermédiaires par le secteur de la recherche où le nombre de nouveaux biens intermédiaire qui est inventé à chaque période, ΔA_t , est supposé proportionnel au nombre total de personnes qui s'engagent dans les activités de recherche, L_{A_t} , c'est-à-dire à la dépense de recherche agrégée de l'économie. Nous avons :

$$(18) \quad \Delta A_t = G(A_{t-1}, L_{A_t}) = \delta \cdot A_{t-1} \cdot L_{A_t},$$

avec $\delta > 0$ un paramètre de productivité. La productivité de la recherche, $\delta \cdot A_{t-1}$, est poussée vers le haut par le nombre de nouvelles variétés de biens intermédiaires inventées par le passé, qui agit comme une externalité intertemporelle positive traduisant le caractère non rival et non exclusif des connaissances qui sont créées. Comme l'exprime Romer (1990, *ibid*) dans son article, « c'est précisément cette linéarité en A qui rend possible la croissance illimitée, et en ce sens, la croissance illimitée ressort plus comme une hypothèse que comme un résultat du modèle ». En effet, par l'équation (18), le taux de croissance du progrès technique, $\frac{\Delta A_t}{A_{t-1}}$, est proportionnel au nombre de personnes engagées dans le secteur de la recherche :

$$(19) \quad \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} = \delta \cdot L_{A_t},$$

et par l'équation (17), à l'équilibre, lorsque toutes les variables du modèle évoluent au même taux, le taux de croissance du produit par tête est lui-même égal au taux de croissance du progrès technique, c'est-à-dire au taux de croissance du nombre de biens intermédiaires :

$$(20) \quad \frac{\Delta Y_t}{Y_{t-1}} = \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} = \delta \cdot L_{A_t}.$$

Enfin dans le modèle, le processus d'innovation est supposé déterministe ce qui permet d'assurer qu'une proportion constante de nouvelles variétés de biens intermédiaires sera découverte à chaque période, à condition également (comme le suppose Romer) que les quantités totales de travail employées dans la recherche (L_{A_t}) et dans l'économie ($L_{Y_t} + L_{A_t} = \bar{L}$), soit elles-mêmes constantes (\bar{L}).

Le deuxième groupe de modèles de première génération est le modèle Schumpétérien d'« échelle de qualité » développé par Grossman et Helpman (1991, *ibid*) et Aghion et Howitt (1992, *ibid*), où cette

fois les innovations prennent la forme d'une amélioration graduelle de la qualité d'un nombre fixé d'anciens produits. Dans le cas par exemple du modèle d'Aghion et Howitt (1992, *ibid*), la fonction de production de l'entreprise représentative produisant le bien final est maintenant :

$$(21) \quad Y_t = L_{Y_t}^\alpha \cdot \sum_{i=1}^{\bar{N}} A_{it} \cdot x_{it}^{1-\alpha}.$$

La principale différence avec la spécification utilisée dans le modèle de Romer (1990, *ibid*) est ainsi que le nombre de biens intermédiaires existants, \bar{N} , est fixe, et qu'à chaque « génération » de bien intermédiaire, x_{it} , est maintenant rattaché un niveau spécifique de productivité, ou de qualité, A_{it} . Dans le secteur de la recherche, la mission des chercheurs est ici d'améliorer la productivité (ou la qualité) des dernières générations de biens intermédiaires d'un incrément fixe $\gamma > 0$. Il y a autant de secteurs de recherche que de biens intermédiaires. La recherche est cette fois un processus stochastique et à chaque période le bien intermédiaire i a une probabilité (loi de Poisson)

$$(22) \quad \mu_{it} = \delta \cdot A_{t-1} \cdot L_{A_{it}}$$

d'être amélioré d'un facteur γ , avec δ un paramètre positif. Nous voyons que la probabilité d'innover dans un secteur i est une fonction croissante des ressources dépensées dans la recherche, c'est-à-dire du nombre de chercheurs dans le secteur : $L_{A_{it}}$. C'est également une fonction croissante de l'accumulation des connaissances « générale », A_{t-1} , qui joue comme dans le modèle précédent de Romer le rôle d'une externalité intertemporelle positive qui accroît la productivité de la recherche. La différence est que la variable A_{t-1} mesure cette fois la qualité « moyenne » atteinte par tous les biens intermédiaires qui sont produits :

$$(23) \quad A_{t-1} = \sum_{i=1}^{\bar{N}} A_{it-1}$$

Comme le nombre de biens intermédiaires est supposé suffisamment grand pour que la loi des grands nombres s'applique, la proportion de secteurs qui vont innover à chaque période est donnée par :

$$(24) \quad \mu_t = \delta \cdot A_{t-1} \cdot L_{A_t}$$

avec $L_{A_t} = \sum_{i=1}^{\bar{N}} L_{A_{it}}$ le nombre total de personnes travaillant dans la recherche à la date t . On déduit de ce résultat l'expression du taux de croissance moyen de la qualité des biens intermédiaires à la date t :

$$(25) \quad \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} = \mu_t \cdot (\gamma - 1)$$

qui est comme attendu une fonction croissante de taille de l'incrément de « qualité », ($\gamma > 1$), et de la probabilité moyenne d'innover, μ_t . En combinant les équations (24) et (25) on obtient l'expression de l'évolution de la qualité moyenne des biens durables à la période t :

$$(26) \Delta A_t = G(A_{t-1}, L_{A_t}) = \delta \cdot (\gamma - 1) \cdot A_{t-1} \cdot L_{A_t} ,$$

qui est totalement analogue avec l'équation d'évolution du nombre de biens intermédiaire (équation 18) dans le modèle de Romer (1986, *ibid*). Ainsi, alors que la recherche est un processus stochastique au niveau d'un secteur dans le modèle d'échelle de qualité, elle devient un processus déterministe au niveau agrégé, comme dans le modèle de variété de Romer.

Dans le secteur qui produit les biens intermédiaires, comme dans le modèle de Romer, z_t unités de bien final sont nécessaires pour produire x_{it} unités du bien durable i . Le stock de capital agrégé de l'économie s'exprime cette fois $K_t = \eta \cdot x \cdot \bar{N} \cdot Q_t$ et la fonction de production du bien final peut se réécrire :

$$(27) Y_t = F(A_t, L_{Y_t}, K_t) = A_t^\alpha \cdot L_{Y_t}^\alpha \cdot K_t^{1-\alpha} \cdot \eta^{\alpha-1} .$$

soit une expression totalement identique à celle du modèle précédent (équation 17).

Comme nous l'annoncions, les deux modèles possèdent des formes réduites identiques, en termes de fonctions $F(\cdot)$ et $G(\cdot)$. La différence est que le taux de croissance des innovations, $g = \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}}$, mesure la croissance de la qualité moyenne des biens intermédiaires qui sont produits dans le modèle d'échelle de qualité, et non pas la croissance du nombre de nouveaux biens intermédiaires, comme dans le modèle de variété. Les deux modèles diffèrent et se complètent ainsi sur le type d'innovations qu'ils représentent. Mais ils diffèrent et se complètent également sur le type de compétition qu'ils décrivent. En effet, dans le modèle de variété, un nouveau monopole est créé à chaque fois qu'une nouvelle variété de produit est introduite, et les anciens monopoles ne sont pas remplacés par les nouveaux. Au contraire, dans le modèle d'échelle de qualité, les nouveaux monopoles qui produisent les dernières générations de biens, remplacent les monopoles qui produisaient les biens de génération précédente. La compétition est cette fois basée sur le concept de « destruction créatrice » introduit par Schumpeter (1942), et sur la « rotation » permanente des entreprises. Cet effet de destruction créatrice implique ainsi que trop de ressources peuvent être investies dans la recherche par rapport à ce qui serait socialement optimal. Au contraire, dans le modèle de différenciation horizontale, où seule l'externalité intertemporelle positive de connaissances est présente, le niveau des ressources qui est spontanément investi dans la recherche sera toujours insuffisant pour atteindre l'optimum social. Finalement, dans les deux cas, comme il y a des distorsions de monopole, rien n'assure que le marché

seul livrera un système de prix efficace. Mais la possibilité d'une croissance presque illimitée, répondant à des incitations publiques et de marché, est bien présente.

La critique de Jones de l'« effet d'échelle » et la seconde génération de modèles NTC

Cette conclusion optimiste des modèles NTC de première génération sur la possibilité d'une croissance illimitée qui puisse être influencée par des politiques adaptées de soutien aux activités de R&I a été fortement critiquée par Jones (1995a, 1995b) dans deux articles de 1995. Dans ces modèles, comme c'est apparent dans l'équation (20) ci-dessus, le taux de croissance du progrès technique et du produit par tête dans un pays donné est proportionnel à la taille de la population (effet d'échelle) avec cette implication immédiate que les pays avec les dotations les plus importantes en capital humain, devraient avoir une croissance par tête également plus importante. De plus, comme dans la plupart des pays, la population et le nombre de personnes éduquées a augmenté de façon importante au cours des dernières décennies, il aurait dû en résulter une accélération du taux de croissance. Or, pour Jones, les deux principales caractéristiques de ces modèles, (1) que le taux de croissance de long terme augmente avec la taille de la population, et (2) qu'il puisse être influencé par des incitations de politique économique, sont toutes deux en contradiction avec les statistiques historiques sur les pays industrialisés et en développement.

Pour commencer par l'« effet d'échelle », Jones (1995a, *ibid*) observe que dans le cas des États-Unis, le taux de croissance du PIB par tête sur plus d'un siècle, entre 1880 et 1987, est resté très stable, autour de 1,8% par an. Au cours de la même période « (...) le nombre de scientifiques et d'ingénieurs employés dans les activités de R&D aux États-Unis a cru depuis moins de 200 000 à plus de 1 million, une augmentation de plus de 5 fois (...) » or aucune accélération de la croissance de la productivité n'est observable. Ainsi pour Jones l'« équation de R&D » au centre des modèles NTC de première génération « viole le test des séries statistiques », et ceci est valable également pour les principaux autres pays de l'OCDE, comme la France, l'Italie ou le Japon. La seconde part de la critique de Jones sur la prédiction de ces modèles que le taux de croissance de long terme de l'économie puisse être influencé par la politique économique, repose également sur une analyse scrupuleuse des statistiques historiques. Jones n'identifie pas moins de dix déterminants potentiels de la croissance de long terme comme les taux d'investissements dans le capital physique et humain, les parts à l'exportation, la force des droits de propriétés, la consommation publique, la croissance de la population, et la pression de la régulation. Jones montre que toutes ces variables ont enregistré des mouvements importants dans les pays de l'OCDE depuis la seconde guerre mondiale, généralement dans le sens d'une augmentation, mais aucune augmentation similaire du taux de croissance par tête ne peut être observé dans les pays de l'OCDE sur la même période. Cela contredit la prédiction des modèles NTC de première génération

et pour Jones « Deux possibilités sont suggérées : ou bien par quelque coïncidence stupéfiante tous les mouvements dans les variables qui peuvent avoir des effets permanents sur la croissance ont été compensés, ou la caractéristique principale des modèles de croissance endogène, que des changements permanents dans les variables de politique économique ont des effets permanents sur les taux de croissance est trompeuse ».

Cette critique de Jones de la première génération de modèles de croissance endogène a été très influente et a conduit au développement d'une seconde génération de modèles, qui a étendu la première génération de façon en supprimer l'« effet d'échelle ». Deux courants de la littérature se sont développés presque en même temps.

Le premier, introduit par Jones (1995b, *ibid*) dans son second article de 1995, étend le modèle de variété de Romer (1990, *ibid*) pour former une première classe de modèles de « seconde génération » que Jones a appelé « semi-endogène ». Dans le modèle, la suppression de l'effet d'échelle conduit à la propriété que le modèle devient invariant à la politique économique dans le long terme. Pour cela Jones commence par rappeler la source de l'« effet d'échelle » dans le modèle de Romer provient de la fonction $G(\cdot)$ pour l'innovation, qui implique que le taux de croissance des innovation et de la PTF, $g = \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}}$, est proportionnel au nombre total de personnes qui ont rejoint le secteur de la recherche. Ainsi, si la population augmente au taux constant exogène n , et si la part des personnes employées dans la recherche reste constante, le taux de croissance du produit par tête à long terme devrait croître, par la fonction $G(\cdot)$, par un facteur $1 + n$ chaque année, conduisant à des taux de croissance explosifs. Pour supprimer cet effet d'échelle dans le modèle, Jones réécrit la fonction $G(\cdot)$ de la façon suivante :

$$(28) \Delta A_t = G(A_{t-1}, L_{A_t}) = \delta \cdot A_{t-1}^\phi \cdot L_{A_t}^\lambda,$$

qui introduit deux nouveautés par rapport au modèle initial de Romer (équation 18).

La première et la plus important est l'introduction du paramètre ϕ . Comme l'explique Jones page 765 de son article « Dans cette équation $\phi < 1$ correspond au cas connu dans la littérature sur la productivité sous le nom de « fishing-out », dans lequel le taux d'innovation décroît avec le niveau des connaissances ; $\phi > 1$ correspond au cas de rendements externes positifs ; la valeur $\phi = 1$ correspond au cas de référence habituel de rendements d'échelle constants (sur les rendements externes) dans lequel le taux d'arrivée des nouvelles idées est indépendants du stock de connaissances ».

La deuxième est la présence du paramètre λ , avec par hypothèse $0 < \lambda < 1$, qui introduit la possibilité, qu'il appelle « *stepping on toes effect* », qu'à une période donnée « (...) la duplication et le

recouvrement des programmes de recherche réduit le nombre d'innovations produites par L_{A_t} unités de travail ».

On voit que le cas $\phi = 1$ et $\lambda = 1$ nous renvoie au modèle initial des modèle NTC de première génération. Tandis que le choix retenu pour la valeur de λ n'a pas de conséquences sur la nature « endogène » ou « semi-endogène » de la croissance dans le modèle, le choix $\phi = 1$ dans les modèles de Romer (1990, *ibid*) ou de Aghion et Howitt (1992, *ibid*) est pour Jones totalement arbitraire et, comme nous l'avons vu, incompatible avec les données statistiques historiques des pays industrialisés. Ce cas représente une hypothèse arbitraire de « fil du rasoir » où les externalités positives générées par les connaissances accumulées au niveau collectif sont supposées compenser exactement la baisse des rendements marginaux du capital au niveau individuel. Le choix $\phi > 1$ conduirait à des taux de croissance explosifs, même pour des valeurs juste au-dessus de 1, et par conséquent Jones centre son attention sur le dernier cas $\phi < 1$ où l'effet de « fishing-out » prédomine. L'expression du taux de croissance du produit par tête dans ce dernier cas s'obtient facilement en reformulant l'équation (28) en termes de taux de croissance des innovations :

$$(29) \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} = \delta \cdot \frac{L_{A_t}^\lambda}{A_{t-1}^{1-\phi}}$$

et comme le taux de croissance des innovations le long d'un sentier de croissance d'état stable est constant, le numérateur et le dénominateur à droite de l'équation (29) doivent croître au même taux ce qui implique finalement:

$$(30) \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} = \frac{\lambda \cdot n}{1-\phi}.$$

Ainsi pour Jones, « tous les taux de croissance intéressants dans le modèle » sont ramenés à long terme vers un état stable qui dépend seulement de la croissance de la force de travail (n) et des paramètres ϕ et λ qui déterminent la force des effets externes (et les rendements d'échelle) dans le secteur de la recherche. Jones souligne qu'en supposant $\phi = 1$ comme dans les modèles NTC de première génération, aucun sentier de croissance équilibrée ne peut exister, puisque la croissance de la population conduirait à des taux de croissance explosifs, et que supposer $\phi < 1$ est suffisant pour éliminer cet « effet d'échelle dévastateur », qui est remplacé par « (...) une dépendance intuitive du taux de croissance au taux de croissance de la force de travail plutôt qu'à son niveau » (Jones, 1995b, *ibid*, p. 769).

Mais en supprimant de la sorte l'« effet d'échelle » la conséquence, évidente dans l'équation (30), est qu'à l'état stable le taux de croissance est « invariant » à la politique fiscale du gouvernement, en y

incluant les subventions et les crédits d'impôt à la R&D. Pour mieux analyser cette propriété d'invariance du taux de croissance de long terme à la politique économique, Jones étudie alors comment la dynamique de transition évolue en appliquant un choc exogène de R&D au modèle d'1 % de la force de travail. Il montre que la longueur à mi-parcours de la dynamique de transition de la TFP ($\frac{\Delta A_t}{A_{t-1}}$) est très longue, et qu'elle est encore plus longue pour la productivité du travail (le produit par tête). Pour $\phi = 0$ (absence d'externalités), la durée à mi-parcours est de 35 ans pour la TFP et de 62 ans pour la productivité. Quand ϕ augmente, la durée à mi-parcours s'accroît considérablement et devient infinie quand ϕ approche 1. Elle est respectivement de 69 et 120 ans pour $\phi = 0,5$, de 139 et 242 ans pour $\phi = 0,75$ et de 347 et 674 ans pour $\phi = 0,9$. La longueur de la dynamique de transition conduit ainsi à relativiser considérablement la propriété du modèle d'« invariance à la politique » du taux de croissance de long terme, qui est vite devenu un sujet de controverse.

Un second courant de la littérature a alors cherché à supprimer l'« effet d'échelle » dans les modèles NTC de première génération mais sans supprimer la possibilité pour la politique économique d'influencer le taux de croissance de long terme. L'idée commune à ces modèles a été, à la suite de Young (1998), de permettre au nombre de variétés de produits d'augmenter dans le modèle d'échelle de qualité initial de Grossman-Helpman (1991, *ibid*) et d'Aghion-Howitt (1992, *ibid*). Young (1998, *ibid*) suppose par exemple que le nombre de produits (N_t) augmente proportionnellement à la taille de la population (L_t), et que les innovations horizontales peuvent être obtenues sans investir dans la recherche, par simple imitation, à mesure que la population grandit et que la technologie et les vieux produits se banalisent. Au niveau macroéconomique, la principale conséquence de cette « prolifération des produits » avec la croissance de la population, est que de plus en plus de recherche est nécessaire pour augmenter la qualité moyenne des produits. En effet, comme dans un secteur donné le même montant de recherche que précédemment est nécessaire pour augmenter la qualité d'un produit d'un facteur γ , l'augmentation du nombre de produit provoque une dilution de l'effort de recherche sur un nombre croissant de secteurs. Cela peut être montré en réécrivant la fonction $G(\cdot)$ du modèle initial de la façon suivante :

$$(31) \quad \Delta Q_t = G_Q(Q_{t-1}, L_{A_t}, N_{t-1}) = \delta_Q \cdot \frac{Q_{t-1}}{N_{t-1}} \cdot L_{Q_t} \cdot$$

où ΔQ_t , δ_Q , Q_{t-1} et L_{Q_t} sont respectivement la variation de la qualité moyenne des produits, un paramètre de productivité positif, l'externalité de connaissances intertemporelle et l'investissement total dans la recherche. La nouveauté est la présence la variable N_t au dénominateur, qui agit comme une externalité négative qui décroît la productivité de la recherche à mesure que le nombre de

secteurs dans l'économie prolifère. En posant $N_t = L_t$ le taux de croissance moyen de la qualité des produits l'économie (g_Q) devient :

$$(32) \frac{\Delta Q_t}{Q_{t-1}} = \delta \cdot \frac{L_{Qt}}{L_t}$$

qui est cette fois proportionnel au taux d'investissement dans la recherche, mesuré par la proportion de la force de travail qui est employée dans le recherche : $\frac{L_{Qt}}{L_t}$.

Dans la fonction $F(.)$ pour la production du bien final (équation 27), la variable A_t qui mesure le stock agrégé de connaissances s'exprime cette fois :

$$(33) A_t = N_t \cdot Q_t$$

d'où il résulte que le taux de croissance du produit par tête dans l'économie (g_y) est :

$$(34) g_y = g_N + g_Q$$

et puisque le nombre de nouveaux produits croît comme la population ($g_N = n$) on obtient finalement :

$$(35) g_y = n + \delta \cdot \frac{L_{Qt}}{L_t}$$

Ainsi comme recherché, lorsque le nombre de produits croît comme la population, le taux de croissance de long terme du produit par tête ne dépend plus de l'« effet d'échelle », comme dans les modèles de première génération, et le taux de croissance d'équilibre de l'économie a maintenant deux composantes : (1) la première exogène dépendant du taux de croissance de la population – comme dans le modèle de croissance semi-endogène introduit par Jones – et qui accroît les innovations sur la « ligne horizontale » ; (2) la seconde endogène qui relie le taux de croissance de l'économie au taux d'investissement dans la recherche sur la « ligne verticale ». Cette seconde classe de modèles généralise ainsi le modèle de croissance semi-endogène introduit par Jones, en ajoutant à la croissance de la population, une composante de la croissance de long terme qui reste complètement endogène et qui peut être influencée par des changements permanents de politique économique.

Soulignons pour finir que dans la plupart des modèles de croissance endogène de seconde génération les innovations horizontales n'apparaissent pas de façon exogène, comme nous l'avons supposé jusqu'ici, mais résultent, comme les innovations verticales, d'investissements dans la recherche. Mais cela ne change pas les principales conclusions que nous venons de faire sur le taux de croissance de

long terme dans ces modèles, qui conservent tous une importante asymétrie entre les deux types d'innovations : Il y a toujours une externalité de connaissances positive le long de la ligne de recherche verticale, comme dans l'équation (31) à travers la variable Q_{t-1} , mais pas le long de la ligne de recherche horizontale, ce qui permet de supprimer l'« effet d'échelle », tandis que le long de la ligne verticale le nombre croissant de produits à un effet de dilution qui réduit les rendements agrégés de la recherche.

Croissance endogène ou semi-endogène, ou les deux ?

Jones (1999) a reconnu dès 1999 dans un nouvel article que l'introduction à la suite de Young (1998, *ibid*) d'une seconde ligne de recherche pour supprimer « l'effet d'échelle » est importante pour au moins deux raisons : (1) cela réintroduit le résultat de la première génération de modèles que le taux de croissance de long terme peut être influencé par la politique économique ; (2) cela supprime la limitation des modèles de croissance semi-endogène à un seul secteur, que Jones a lui-même introduite avec le *fishing-out*, où la croissance du produit par tête ne peut être soutenue à long terme en l'absence de croissance de la population. Mais comme l'a montré Li (2000), la croissance semi-endogène ne s'obtient pas que dans les modèles à un seul secteur de recherche, mais ressort au contraire comme le cas général dès lors que l'on introduit dans un modèle comprenant au moins deux lignes de recherche des possibilités d'externalités plus importantes que celles imaginées au départ par Young (1998, *ibid*). Pour le montrer, Li (2000, *ibid*) adapte le modèle à deux secteurs de recherche pour obtenir les formes réduites suivantes pour l'évolution des innovations de produit (ΔN_t) et de qualité (ΔQ_t) au niveau agrégé :

$$(36) \quad \Delta N_t = G_N(N_{t-1}, L_{N_t}, Q_{t-1}) = \delta_N \cdot N_{t-1}^{\phi_N} \cdot \frac{Q_{t-1}^{\beta_N}}{Q_{t-1}} \cdot L_{N_t},$$

et :

$$(37) \quad \Delta Q_t = G_Q(Q_{t-1}, L_{Q_t}, N_{t-1}) = \delta_Q \cdot N_{t-1}^{\phi_Q} \cdot \frac{Q_{t-1}^{\beta_Q}}{N_{t-1}} \cdot L_{Q_t}.$$

Dans ces équations, les paramètres $\phi_N > 0$ et $\beta_Q > 0$ reflètent comme l'a proposé initialement Jones (1995b, *ibid*) la force des externalités de connaissances intra-sectorielles, avec la nouveauté qu'il y a maintenant également des externalités le long de la ligne horizontale. Mais la principale nouveauté est la présence des termes $Q_{t-1}^{\beta_N}$ et $N_{t-1}^{\phi_Q}$, avec $\beta_N > 0$ et $\phi_Q > 0$, qui introduisent la possibilité externalités de connaissances inter-R&D positives dans les équations. Le terme N_{t-1} au dénominateur dans l'équation (37) reflète comme précédemment l'impact négatif de la prolifération du nombre de nouvelles variétés de produits sur la productivité de la R&D de qualité, et le terme Q_{t-1} au

dénominateur dans l'équation (36), introduit similairement une difficulté croissante à inventer de nouvelles variétés de produits à mesure que leur degré moyen de « sophistication » augmente.

Le modèle est maintenant parfaitement symétrique et Li montre que dans le cas général où $\phi_N \neq \phi_Q$ et $\beta_N \neq \beta_Q$ le modèle est semi-endogène. Le modèle de croissance semi-endogène proposé par Jones (1995b, *ibid*) avec seulement de l'innovation de variété, ou ceux de Kortum (1997) et Segerstrom (1998), avec seulement des innovations de qualité, s'obtiennent avec des restrictions supplémentaires sur les paramètres. Les modèles de croissance endogène de seconde génération de Young (1998, *ibid*), Aghion et Howitt (1998, ch. 2), Dinopoulos et Thomson (1998) et Howitt (1999) requièrent pour leur part deux conditions de fil du rasoir. $\phi_N = \phi_Q = 0$ et $\beta_N = \beta_Q = 1$ nous ramènent au cas proposé par ces modèles où il n'y a pas de *fishing-out*, pas d'externalités de connaissances intra-sectorielles sur la ligne de recherche horizontale, et pas d'externalités de connaissances positives, mais le cas symétrique peut être obtenu en posant $\phi_N = \phi_Q = 1$ et $\beta_N = \beta_Q = 0$, et les deux cas précédents peuvent être généralisés en posant $\phi = \phi_N = \phi_Q$ et $\beta = \beta_N = \beta_Q$, ce qui implique des structures de connaissances identiques dans les deux activités de recherche. Le modèle recouvre aussi le cas des modèles de croissance de première génération de Romer (1990, *ibid*), Grossman et Helpman (1991, *ibid*) et Aghion et Howitt (1992, *ibid*) en posant par exemple $\phi_N = \phi_Q = \beta_N = \beta_Q = 1$. Dans ce cas l'« effet d'échelle » est présent et il y a des innovations de variété et de qualité en même temps.

Pour Li (2000, *ibid*), « les traits de l'accumulation moderne des connaissances est de plus en plus interdisciplinaire, *e.g.* le transistor est le produit de la physique, de la chimie et de la métallurgie (...) [et en permettant de telles externalités de connaissances inter-R&D] les modèles à deux secteurs de R&D ne produisent généralement plus de croissance endogène, la croissance semi-endogène devenant la norme ». Le modèle à deux secteurs de R&D démontre en effet la généralité de la croissance semi-endogène, puisqu'il faut par contraste deux conditions de fil du rasoir pour obtenir de la croissance endogène, et Li généralise ce résultat en montrant que dans un modèle à k secteurs de R&D, la croissance endogène requiert k conditions de fil du rasoir en présence d'externalités inter-R&D.

A l'invitation de Li et Jones (1999, *ibid*) toute une littérature s'est alors développée à partir du début des années 2000 pour tester économétriquement ces conditions de « fil du rasoir ». Sans entrer dans les détails des méthodologies de ces travaux, l'idée commune est comme dans les articles de Jones (1999, *ibid*) et de Li (2000, *ibid*), d'utiliser un cadre englobant les différents cas et permettant de tester économétriquement les restrictions sur les paramètres imposées par les différents modèles au niveau agrégé. Il y a d'abord l'étude de Ha et Howitt (2007) qui trouve pour les États-Unis sur la période 1953-2000 une forte évidence de cointégration entre la R&D et le PIB, et une intensité de R&D qui est restée relativement stable, comme le requiert l'approche endogène de la croissance. Mais comme l'a souligné

Madsen (2008), cette cointégration entre les deux variables n'explique pas la croissance de la PTF, ce qui nécessite d'ajouter au modèle une équation de régression de la PTF. En appliquant cette méthodologie à un panel de 21 pays de l'OCDE Madsen (2008, *ibid*) ne trouve aucun support pour la croissance semi-endogène, et un fort support pour la croissance endogène dans la dimension temporelle. La limite est toutefois que les résultats ne permettent pas d'expliquer de façon satisfaisante les différences de rythmes de croissance de la PTF entre les différents pays. Les résultats de Barcenilla-Visus, Lopez-Pueyo et Sanau-Villarroya (2010) depuis une transposition de l'approche de Madsen (2008, *ibid*) à un niveau sectoriel pour six pays de l'OCDE sur la période 1979-2001, vont au contraire dans le sens d'une validation de l'approche semi-endogène de la croissance, tout comme l'étude de Kruse-Andersen (2017) qui approfondit l'étude initiale de Ha et Howitt (2007, *ibid*) avec l'introduction d'une équation de TFP et d'un modèle VAR complet. Ainsi pour Kruse-Andersen, le support trouvé pour la théorie de la croissance endogène dans beaucoup d'études, résulte sans doute de biais de spécifications, comme, au niveau macro, les études de Ha et Howitt (2007, *ibid*) et Madsen (2008, *ibid*), et au niveau micro d'Ulku (2007) et de Venturini (2012).

Sans proposer ici une revue exhaustive des études ayant cherché à départager économétriquement les deux approches de la croissance, nous voyons que les tests proposés ne sont généralement pas très concluants. Et beaucoup de facteurs expliquent cette difficulté à obtenir des résultats tranchés. Il y a déjà les conditions de fil du rasoir restrictives pour que la croissance endogène émerge des tests, le cas général, comme illustré par Li (2000, *ibid*), étant la croissance semi-endogène. De plus, même si les modèles théoriques admettent tous la possibilité de croissance endogène, la prolifération des produits que la majorité inclut, relie une partie de la croissance de long terme au taux de croissance de la population, comme dans les modèles de croissance semi-endogène. Il n'est donc pas étonnant que les tests de ces modèles aient des difficultés à discriminer entre les deux facettes de la croissance : celle venant de l'augmentation du nombre de personnes travaillant dans le secteur de la recherche, qui déplace la frontière technologique en augmentant les connaissances, et celle provenant des efforts des individus, des entreprises et des pays, à transformer les nouvelles connaissances en innovations. De façon corollaire, la littérature sur la R&D et la productivité démontre que les externalités de connaissances sont le principal moteur des innovations et de des gains de productivité, mais qu'une capacité d'absorption suffisante est nécessaire pour que cela soit effectif. Les transferts de technologie et les externalités de marché ont également des effets importants d'« égalisation » des taux de croissance dans les différents secteurs et les différents pays. Howitt (2004) pointe dans ce sens que lorsque l'on introduit les externalités de connaissances intersectorielles et internationales et les transferts de technologies dans les modèles « (...) ce qui compte [finalement] pour le taux de croissance d'un pays est la configuration de la R&D à travers le monde, pas seulement dans un pays.

Ainsi il n'y a rien qu'un pays relativement petit comme le Canada qui n'exécute lui-même qu'une petite fraction de la R&D mondiale, puisse faire pour influencer son taux de croissance de long terme. Ce n'est pas le cas pour les États-Unis, qui est un pays assez grand pour que des changements dans son intensité de R&D puisse avoir un effet significatif sur le taux de progression de sa frontière technologique ». Un autre problème est la longueur des dynamiques qui sont impliquées par les modèles de croissance. Pour revenir au cas des États-Unis, Fernald et Jones (2014) montrent que tandis que les États-Unis ont connu une remarquable et surprenante constance de leur taux de croissance par tête, depuis les années 1870 jusqu'à aujourd'hui, près de 2 %, ceci a été marqué quoi qu'il en soit par de fortes dynamiques de transition. Les auteurs montrent à partir d'un exercice de comptabilité de la croissance pour la période de l'après-guerre que 21 % de la croissance peut être expliquée par l'augmentation de la R&D, comme dans les modèles de croissance semi-endogène, 58 % par l'augmentation de l'intensité de recherche, comme dans le modèles de croissance endogène, 20 % par l'augmentation du capital humain, comme dans le modèle de Lucas (1988), et 0 % par l'augmentation du capital par tête, comme dans le modèle de Solow (1956). Ces résultats ne sont pas une preuve que la croissance endogène explique mieux que la croissance semi-endogène la croissance aux États-Unis dans l'après-guerre, mais ils sont une illustration que l'augmentation de la taille du secteur de la recherche, et celle de l'intensité de R&D, sont toutes deux importantes pour la croissance de long terme dans les pays industrialisés.

3. L'évaluation des politiques de R&I avec NEMESIS, QUEST III et RHOMOLO et les choix méthodologiques retenus avec NEMESIS pour l'évaluation économique du CIR

Les modèles de simulation macroéconomique de grande taille intégrant une représentation endogène du progrès technique et permettant de réaliser des évaluations des politiques de R&I pour la France ou d'autres pays européens sont très peu nombreux et ont tous été développés à l'initiative de la Commission européenne (CE). NEMESIS²² a été l'un des premiers, et c'est le modèle qui a été

²² NEMESIS (*New Econometric Model for Evaluation by Sectoral Interdependency and Supply*) est un modèle géré par SEURECO, une société privée créée par des chercheurs du laboratoire ERASME (Équipe de Recherche en Analyse des Systèmes et Modélisation Économique) de l'École Centrale de Paris et de l'Université de Paris I. Le modèle a été financé à l'origine par les 5^{ème} et 6^{ème} programmes cadre de recherche de la Commission européenne. Depuis sa première version en 2002 et les financements obtenus au cours des 7^{ème} et 8^{ème} programmes cadre de la Commission européenne, le modèle a été enrichi régulièrement par ERASME en collaboration avec l'Université de Maastricht pour l'économie de la connaissance et de l'innovation, la laboratoire ICCS E3M-Lab de l'École polytechnique d'Athènes pour l'énergie et l'environnement, et le Bureau fédéral du plan à Bruxelles, pour le cadre comptable, les estimations économétriques et les développements logiciel.

régulièrement utilisé par la Direction générale de la Recherche (DG RTD) depuis 2003 pour toutes les évaluations macroéconomiques de ses politiques de R&I. On peut notamment citer, en 2003, l'évaluation de l'objectif de Barcelone de porter à 3 % du PIB l'effort de recherche européen (Brécard *et al.*, 2004 ; Brécard *et al.* 2006 ; Zagamé, 2010), en 2004, l'évaluation des plans d'actions pour la recherche des États-Membres de l'Union européenne (UE) (Chevallier *et al.*, 2006), en 2005, l'évaluation *ex-ante* du 7^{ème} programme cadre pour la recherche (FP7) de la CE (CE, 2005 ; Delanghe et Muldur, 2007) et, en 2012, celle du 8^{ème} programme, H2020 (CE, 2012 – annexe 5), en 2017, l'évaluation *ex-post* du FP7 et intérimaire d'H2020 (PPMI, 2017 ; CE, 2017) enfin, en 2018, l'évaluation *ex-ante* du prochain programme, Horizon Europe (CE, 2018 ; Boitier *et al.*, 2018 ; Ravet *et al.*, 2019). Entre temps, deux autres modèles ont été adaptés par la Commission européenne pour l'évaluation de ses politiques de R&I. Au milieu des années 2000, une représentation endogène du progrès technique a été introduite dans QUEST III (Roeger *et al.*, 2008), un modèle développé par la Direction générale pour les affaires économiques et sociales (DG ECFIN) de la CE. Plus récemment, le modèle RHOMOLO (Lecca et Sakkas, 2018), développé depuis 2010 par la Direction générale Centre commun de recherche (DG JRC), en collaboration avec la Direction générale pour la politiques urbaine et régionale (DG REGIO), a été adapté pour obtenir une version du modèle avec progrès technique endogène, aujourd'hui opérationnelle. Ainsi pour la première fois, en 2018, QUEST III et RHOMOLO ont été utilisés pour l'évaluation d'un programme européen de recherche, celle du prochain programme, Horizon Europe (CE, 2018, *ibid*), qui a été réalisée en complément de l'étude approfondie qui en a été faite avec le modèle NEMESIS.

Du point de vue de leurs caractéristiques générales, QUEST III, NEMESIS et RHOMOLO sont des modèles appartenant à des traditions économiques différentes, avec également différents niveaux de détail. QUEST III est un modèle macroéconomique d'équilibre général dynamique stochastique (DSGE), très proche dans ses fondements des modèles théoriques de croissance endogène présentés dans la section précédente, et des canons de la théorie macroéconomique moderne. Il y a un modèle pour chacun des pays de l'UE (27) et le Royaume-Uni, avec des fondements microéconomiques dérivés explicitement de la maximisation intertemporelle des profits et de l'utilité sous l'hypothèse d'anticipations parfaites. NEMESIS est comme QUEST III un modèle pour chacun des pays de l'UE plus le Royaume-Uni, mais les deux modèles diffèrent profondément dans leur approche des phénomènes économiques. C'est un modèle macro-sectoriel (30 secteurs) d'inspiration néokeynésienne, avec des coûts d'ajustement, des anticipations adaptatives, des prix rigides, et des taux de change et d'intérêt exogènes, qui ne permettent pas au modèle de décrire un équilibre général, même dans le long terme. RHOMOLO qui est un modèle d'économie spatiale basé sur les nouvelles théories de l'économie géographique, est le modèle le plus détaillé géographiquement, avec la

modélisation en équilibre général de 267 régions européennes avec leurs interactions. Le modèle comporte également une dimension sectorielle, les régions comportant chacune 10 secteurs d'activité. Comme pour NEMESIS, le grand niveau de détail du modèle ne permet pas une résolution tournée vers l'avenir, et le modèle est résolu par une approche dynamique récursive.

Du point de vue de la représentation de l'innovation, les trois modèles ont en commun de la faire reposer sur la forte évidence empirique, présentés à la section 2, que les investissements en R&D ont été à l'origine des principales innovations technologiques, et progrès de productivité, dans les pays industrialisés au cours des dernières décennies. Conceptuellement, ils se réfèrent également tous, explicitement ou implicitement, aux nouvelles théories de la croissance que nous venons de présenter. NEMESIS est certainement le modèle qui inclut les mécanismes de progrès technique les plus riches, avec notamment l'extension récente de ses mécanismes d'innovation au rôle joué par les investissements en TIC, en logiciels et en formation professionnelle, particulièrement importants pour représenter l'innovation dans les services (Cf. *infra* et Le Mouël, 2019). Mais l'approche sectorielle, et « hors-de-l'équilibre » qui est retenue dans NEMESIS n'assure pas que le long-terme qui est décrit par le modèle, soit compatible avec la représentation de l'équilibre général au cœur du modèle QUEST III. Dans QUEST III, par contraste, le compromis est cette fois au prix de la richesse, et du degré de détail, des mécanismes d'innovation, qui sont restreints par les contraintes analytiques fortes, qu'imposent la modélisation DSGE. Pour RHOMOLO, à l'opposé, les limitations viennent davantage des contraintes de données, et de la difficulté de représenter certains phénomènes, comme les externalités de connaissance, à un niveau régional détaillé.

La principale difficulté, lorsque l'on passe des modèles théoriques de croissance présentés dans la section 2, aux modèles macroéconomiques appliqués utilisés pour évaluer les politiques de R&I, est ainsi que ces derniers sont beaucoup plus détaillés que ces premiers, et, selon la structure des modèles, le passage de la « théorie à la pratique » est plus ou moins direct. QUEST III, avec sa structure agrégée en équilibre général, est ainsi le seul des trois modèles à se référer explicitement aux nouvelles théories de la croissance, avec une approche semi-endogène inspirée directement de l'article de Jones (1995b, *ibid*). Dans le cas de NEMESIS, même si la représentation du progrès technique s'est inspirée, au moment de la construction du modèle au début des années 2000, des nouvelles théories de la croissance, l'objectif, plus pragmatique, a été de tenter de reproduire dans le modèle les principaux résultats de l'abondante littérature économétrique sur la R&D et la productivité, que nous avons présentée dans la section 2. L'innovation y est représentée à un niveau sectoriel, et le changement structurel provoqué dans le modèle par les innovations, rend difficile de caractériser ses propriétés de croissance au niveau agrégé. Toutefois, au niveau sectoriel, les propriétés de croissance sont similaires à celles décrites par les modèles de croissance endogène de seconde génération. L'approche est

encore différente dans RHOMOLO, où la décision d'investir dans la R&D ne résulte pas du comportement d'optimisation intertemporelle des entreprises, et où l'endogénéisation de l'innovation n'est pas encore complètement achevée. Le lien qui est introduit dans le modèle entre les investissements exogènes dans la R&D et la croissance de la PTF peut être rattaché, comme pour QUEST III, à une approche semi-endogène de la croissance.

Si nous ajoutons à la différence dans la structure des modèles, la représentation de la croissance endogène (NEMESIS), *versus* semi-endogène (QUEST III et RHOMOLO), que chacun supporte, nous ne pouvons certainement pas espérer qu'ils fournissent des résultats similaires lorsqu'ils sont utilisés pour l'évaluation des politiques de R&I, qu'elles soient nationales ou européennes. Il nous a ainsi semblé utile, dans cette section méthodologique, de mettre en perspective les caractéristiques et les propriétés du modèle NEMESIS utilisé dans cette étude sur l'évaluation macroéconomique du CIR, en exposant également le fonctionnement des modèles QUEST III et RHOMOLO qui représentent aujourd'hui, à notre connaissance, les seules approches concurrentes/complémentaires à celle du modèle NEMESIS, et qui soient aujourd'hui également mobilisables pour réaliser des évaluations des politiques de R&I pour la France ou pour l'Europe. Pour chaque modèle, depuis QUEST III jusqu'à RHOMOLO, nous commençons en introduction par en décrire les caractéristiques générales puis nous détaillons comment l'innovation y est représentée, notamment en ce qui concerne les trois éléments qui sont au cœur de la littérature théorique et empirique sur la croissance : les externalités de connaissance, la fonction de production des innovations et l'impact des innovations sur la performance économique. Enfin, pour illustrer et comparer le fonctionnement des trois modèles, nous présentons brièvement leurs résultats pour l'évaluation du prochain programme cadre de R&I européen, Horizon Europe. Ce sera également l'occasion de présenter certains aspects méthodologiques généraux sur l'évaluation macroéconomiques des politiques de R&I avec les modèles appliqués de simulation, valables aussi pour la mise en œuvre du CIR dans NEMESIS et pour l'évaluation des effets du renforcement du dispositif après 2007 avec le modèle.

3.1. L'innovation dans le modèle QUEST III

Dans QUEST III chaque pays de l'UE (plus le Royaume-Uni) regroupe des ménages, des entreprises qui produisent le bien final et le bien intermédiaire, une industrie de recherche, un gouvernement et une autorité monétaire et fiscale. Il y a deux catégories de ménages, ceux qui subissent une contrainte budgétaire et consomment tout leur revenu, sans possibilité d'accès aux marchés financiers, et ceux qui ne sont pas contraints par la liquidité et peuvent acheter et vendre des actifs sur les marchés financiers (des bonds d'État), accumuler du capital physique pour le « louer » aux entreprises, et acheter les brevets au secteur de la recherche et les revendre sous forme de licences aux entreprises

du secteur intermédiaire. Cette seconde catégorie de ménages est de « type Ramsey (1928, *ibid*) », avec anticipations parfaites, et se comporte exactement comme ceux des modèles NTC. Les deux catégories de ménages ont une offre de travail qui inclut trois niveaux de qualification (basse, moyenne ou élevée) imparfaitement substituables, et le fonctionnement du marché du travail est de type WS-PS. Du côté des entreprises, celles produisant le bien final utilisent la fonction de type Cobb-Douglas suivante :

$$(38) \quad Y_t = (L_{Y_t} - FC_L)^\alpha \cdot \left(\sum_{i=1}^{A_t} x_{it}^\theta \right)^{\frac{1-\alpha}{\theta}} \cdot KG_t - FC_Y$$

avec L_{Y_t} la quantité de travail utilisée, qui est une combinaison CES des trois catégories de travail utilisées pour produire le bien final, FC_Y un coût de production fixe, FC_L un coût administratif mesuré en unités de travail, A_t le nombre de variétés de biens intermédiaires x_{it} qui se « combinent » avec une élasticité de substitution $\frac{1}{1-\theta}$, et KG_t un index du stock de capital public. Dans le secteur intermédiaire, les entreprises en concurrence monopolistique entrent sur le marché en achetant une licence aux ménages et en faisant un paiement initial FC_A correspondant à un coût administratif. Alors, comme dans le modèle initial de Romer (1990, *ibid*) il faut qu'ils « louent » z_t unités de capital aux ménages pour fabriquer x_t unités de bien intermédiaire. Du côté du gouvernement la consommation publique (G_t), l'investissement (IG_t) et les transferts (TR_t) sont proportionnels au PIB, tandis que les allocation chômage (BEN_t) sont indexées sur les salaires. Le gouvernement accorde des subventions et des crédits d'impôts aux entreprises pour leurs investissements en capital physique et en R&D des entreprises. Les revenus du gouvernement (R_t^G) sont formés des taxes sur la consommation, le capital, le travail et les revenus. Finalement la politique monétaire est modélisée par une règle de Taylor, qui lisse l'évolution du taux d'intérêt en fonction d'une cible d'inflation et de l'écart entre la croissance du PIB et le taux de croissance potentiel. Pour le commerce extérieur, l'arbitrage entre production nationale et biens importés résulte d'un agrégateur CES résumant les préférences des ménages, des investisseurs et du gouvernement concernant l'origine des biens. Soulignons qu'il n'y a qu'un seul bien dans le modèle qui sert à la fois à la consommation, à l'investissement, et à l'exportation. Le modèle reste ainsi très stylisé et, si l'on met notamment à part l'ouverture à l'extérieur, l'existence d'un gouvernement et d'une règle de politique monétaire, très proche de la structure des modèles NTC présentés dans la section 2.

Modélisation de l'innovation et propriétés de croissance à long terme

Pour examiner maintenant plus en détail comment l'innovation est représentée dans le modèle, il est utile pour commencer de supprimer de l'équation (38) ci-dessus tous les éléments inutiles à l'analyse des propriétés de croissance à long terme du modèle, à savoir le stock de capital public (KG_t) qui agit

comme une externalité positive, les coûts fixes de production (FC_Y) et les coûts administratifs (FC_L). Avec ces simplifications, on obtient la *fonction* suivante pour la production du bien final :

$$(39) \quad Y_t = L_{Y_t}^\alpha \cdot \left(\sum_{i=1}^{A_t} x_{it}^\theta \right)^{\frac{1-\alpha}{\theta}}$$

et comme à l'équilibre symétrique toutes les variétés de biens intermédiaires sont utilisées en quantités identiques, $x_{it} = x_t$, on obtient :

$$(40) \quad Y_t = L_{Y_t}^\alpha \cdot A_t^{\frac{1-\alpha}{\theta}} \cdot x_t^{1-\alpha}.$$

Ensuite, comme une unité de bien intermédiaire est produite avec une unité de capital, le stock de capital est la somme directe des quantités de biens intermédiaires qui sont utilisées :

$$(41) \quad K_t = A_t \cdot x_t$$

et en réintroduisant cette dernière expression dans la fonction de production du bien final on obtient finalement la fonction $F(.)$ suivante :

$$(42) \quad Y_t = F(L_{Y_t}, K_t, A_t) = L_{Y_t}^\alpha \cdot K_t^{1-\alpha} \cdot A_t^{\frac{(1-\alpha)(1-\theta)}{\theta}}.$$

Cette fonction $F(.)$ diffère très légèrement de celle des modèles de variété de Romer (1990, *ibid*) et de Jones (1995b, *ibid*) par la présence du paramètre θ dans l'équation (39), qui est simplement posé à 1 dans les modèles de Romer et de Jones.

Pour la fonction d'innovation, la fonction $G(.)$ utilisée dans QUEST III est une adaptation au contexte international de la formulation proposée initialement par Jones (1995b, *ibid*) :

$$(43) \quad \Delta A_t = G(A_{t-1}, A_{t-1}^F, L_{A_t}) = \delta \cdot A_{t-1}^\omega \cdot A_{t-1}^\phi \cdot L_{A_t}^\lambda$$

avec la possibilité de « *fishing-out* » ($\phi < 1$) et de « *stepping on toes* » ($\lambda < 1$), la nouveauté étant la présence de la variable A_{t-1}^F dans l'équation, qui capture l'influence positive des externalités de connaissance d'origine internationale, dont la force est mesurée par le paramètre $\omega > 0$.

L'expression du taux de croissance à long terme des innovations dans le modèle est ici :

$$(44) \quad \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} = \frac{\lambda \cdot n + \omega \cdot n^F}{1 - \phi}.$$

La principale différence avec le modèle initial de Jones est que le taux de croissance des innovations à long terme dépend, en plus de l'influence de la croissance du secteur de la recherche domestique (n), à travers le terme $\lambda \cdot n$, par la croissance du secteur de la recherche étranger (n^F), à travers le terme

$\omega \cdot n^F$. En remplaçant l'expression (44) dans l'équation (42) et en utilisant la propriété que la production finale et le stock de capital croissent au même taux à long terme, on peut alors caractériser la croissance à long terme du PIB par tête dans QUEST III qui s'écrit :

$$(45) \frac{\Delta Y_t}{Y_{t-1}} = \frac{(1-\alpha)(1-\theta)}{\alpha \cdot \theta} \cdot \frac{\Delta A_t}{A_{t-1}} = \frac{(1-\alpha)(1-\theta)}{\alpha \cdot \theta} \cdot \frac{\lambda \cdot n + \omega \cdot n^F}{1-\phi}.$$

Nous voyons que le taux de croissance de long terme du produit par tête dans QUEST III est (1) une fonction décroissante de l'élasticité de l'activité au travail (α) et croissante à celle du capital ($1 - \alpha$), (2) une fonction décroissante de l'élasticité de substitution entre les différentes variétés de biens intermédiaires ($\frac{1}{1-\theta}$), (3) une fonction positive de la croissance des secteurs de recherche domestique et étranger, à travers les élasticités (λ) et (ω) respectivement, et (4) finalement une fonction positive de la valeur du paramètre ϕ mesurant la force des externalités intertemporelles de connaissances.

Éléments sur la calibration des principaux paramètres du modèle

La calibration des paramètres doit en principe permettre au modèle de refléter pour chaque pays la « qualité » de son système national de recherche (académique et scientifique), et la capacité des entreprises - mesurée par exemple par les investissements en R&D des entreprises en pourcentage du PIB – à absorber les connaissances scientifiques et technologiques, pour les transformer en innovations. La méthodologie de calibration de QUEST III est décrite en détail dans D'Auria *et al.* (2009) et également dans Varga *et al.* (2020). La méthode consiste d'abord à initialiser les stocks de connaissances (A_t) à 1. Puis, pour commencer par le paramètre λ qui mesure l'effet de congestion (*stepping on toes effect*) introduit par Jones (1995b, *ibid*), D'Auria *et al.* (2009, *ibid*) indiquent que sa valeur est fixée égale à la part des salaires dans la dépense totale de R&D des différents pays. Il faut préciser ici que dans QUEST III tout se passe comme si la R&D publique était exécutée par les entreprises du secteur privé, donc la calibration prend en compte la dépense totale de recherche (publique plus privée) dans chaque pays. Les valeurs qui en résultent ont été mises à jour dans Varga (2020, *ibid*). Elles sont centrées autour de 0,5, avec un minimum de 0,34 pour la suède et de 0,78 pour l'Italie. Nous rappelons que la valeur de ce paramètre est sans influence sur la durée de la transition entre deux équilibres lorsqu'un choc est appliqué au modèle, et elle influence simplement positivement la réponse du modèle au choc à court-moyen terme. Pour les deux autres paramètres importants du modèle, λ et ω , QUEST III utilise des estimations économétriques réalisées par Bottazzi et Peri (2007) basées sur un panel de 15 pays de l'OCDE pour la période 1973-1999. Comme selon les estimations les valeurs des paramètres varient beaucoup et que les valeurs des ratios entre λ et ω

varient moins, en fixant la valeur de ce ratio, la valeur de ω peut être déduite de la valeur fixée précédemment pour λ . Alors en fixant le taux de croissance des innovations (A) entre 1,15 % et 1,33 % par trimestre selon les pays, et le taux de croissance des secteurs de la recherche domestique et étranger (n et n^F) sur la base des données statistiques, la valeur de ϕ est déduite. Nous rappelons l'impact très fort de la valeur de ce dernier paramètre sur la longueur de la dynamique de transition, et l'arbitrage existant entre les valeurs des paramètres λ et ϕ . Les valeurs ainsi déduites pour ϕ vont de 0,16 en Roumanie (qui a la valeur de λ la plus élevée) jusqu'à 0,68 en Suède (qui a la valeur de λ la plus basse). Avec ces valeurs de ϕ le ratio entre le pays qui a la dynamique de transition la plus longue (la Pologne) et celui où elle est la plus courte (la Roumanie) est assez élevé. Pour la PTF, la longueur de la dynamique est d'environ 10 ans dans le cas de la Roumanie à comparer à 30 ans pour les Pays-Bas qui a une valeur de ϕ proche de 0,5. Pour le PIB par tête, la longueur de la dynamique de transition est beaucoup plus longue, et d'après les résultats de simulation présentés dans Vargas *et al.* (2020, *ibid*) aucun pays ne semble avoir complètement convergé après 50 ans. Si l'on considère des valeurs fixées autour de 0,6 pour α , la part des salaires dans la valeur ajoutée, et de 0,9 pour θ , on peut estimer, d'après l'équation (45) que dans le modèle à une augmentation de 1 % du stock d'innovations est associée un accroissement d'environ 0,08 % du PIB par tête dans tous les pays, ce qui est compatible avec les résultats de la littérature empirique que nous avons passé en revue dans la section 2. Un dernier aspect concerne la valeur du paramètre δ pour la productivité de la R&D dans l'équation (43). On pourrait s'attendre à ce que la valeur de ce paramètre soit plus élevée dans les pays où l'intensité de R&D est la plus forte, conduisant à une relative égalisation des rendements marginaux de la recherche dans les premières phases de la dynamique de transition du modèle, conformément aux résultats des études économétriques sur la R&D présentés dans la section 2. Or il n'en est rien et la valeur du paramètre est au contraire plus forte dans les pays où l'intensité de R&D est la plus faible, avec par exemple des valeurs de 7,6 en Roumanie (intensité de R&D de 0,4 %), de 2 en Lettonie (intensité de R&D de 0,8 %), de 0,4 en Italie (intensité de R&D de 1,5 %) et de 0,15 en Suède (intensité de R&D de 4 %).

3.2. L'innovation dans le modèle NEMESIS utilisé pour l'étude

NEMESIS est comme QUEST III un modèle pour tous les pays de l'UE (27) plus le Royaume-Uni, en interaction avec les autres pays du monde, mais les deux modèles diffèrent profondément dans leurs approches de modélisation des phénomènes économiques. NEMESIS est un modèle économétrique d'inspiration néo-keynésienne et les ajustements des prix et des quantités dans le modèle incluent de nombreux décalages temporels reflétant la structure adaptative des anticipations des agents économiques et la présence de coûts d'ajustement. Ces caractéristiques en ajoutant également

l'absence de modélisation du marché du capital ne permettent ainsi pas au modèle de décrire un « équilibre général », même si à long terme les forces de rappel du modèle conduisent la trajectoire des économies qu'il représente vers leur taux de croissance potentiel. La particularité de NEMESIS comparé à un modèle agrégé comme QUEST III, est que dans le modèle la croissance économique est le résultat d'interactions entre des secteurs de production très hétérogènes qui forment une dynamique « *bottom-up* » complexe, combinée avec des forces macroéconomiques purement « *top-down* », comme l'influence des décisions de consommation et d'épargne des ménages et celle du secteur public à travers les règles budgétaires et fiscales, les contributions et transferts sociaux, la fourniture de services publics, les investissements publics et la mise en place des politiques structurelles. NEMESIS est principalement fondé sur l'observation des phénomènes et sur leur mesure économétrique à un niveau de détail très important, la contrepartie étant l'affaiblissement des fondements théoriques du modèle si on le compare par exemple à QUEST III.

Au niveau des caractéristiques générales, NEMESIS distingue quatre catégories d'agents économiques : les ménages, les entreprises financières et non financières, le gouvernement et le reste du monde.

L'évolution de la force de travail est supposée exogène dans la plupart des applications du modèle, mais des coefficients de « flexion » de l'offre de travail par classes d'âge, par genre et par niveau d'éducation peuvent être introduits. Deux types de qualifications sont distinguées, correspondant à deux niveaux d'études : jusqu'au bac et après. Le salaire rattaché à chaque catégorie de travail est déterminé à partir d'une courbe de Phillips augmentée²³. Le taux de croissance des salaires dépend ainsi, au-delà de l'influence de facteurs institutionnels, des anticipations d'inflation, de la croissance de la productivité du travail, et de l'écart entre le taux de chômage effectif au taux de chômage structurel. Ainsi, d'après les constructions de Friedman (1968) et Phelps (1967), il y a des pressions inflationnistes dès lors que le taux de chômage est situé en dessous de son niveau structurel, et inversement. Les salaires sont déterminés à un niveau sectoriel, et diffèrent entre secteurs en fonction des différences de croissance de la productivité du travail et de l'influence de facteurs structurels capturés par une constante. Le travail est finalement supposé être mobile entre secteurs, mais avec des délais et des coûts d'ajustements.

Il n'y a qu'une seule catégorie de ménages dans NEMESIS qui offrent les deux catégories de travail et prennent leurs décisions de consommation et d'épargne en fonction de l'évolution de leurs anticipations de revenu disponible réel. Ce revenu inclut les salaires, les revenus du capital et les

²³ Par conséquent, dans le modèle la négociation salariale est basée sur le taux de croissance du salaire réel, et non pas sur le niveau du salaire de réservation, comme dans l'approche WS-PS utilisée dans QUEST III.

transferts sociaux perçus, moins les taxes et les cotisations sociales acquittées. Suivant Davidson (1978), la consommation agrégée est également influencée à long terme par la structure de la population, et à court terme par le taux de chômage qui modifie les anticipations sur l'évolution du revenu réel, avec également une influence du taux d'intérêt réel. L'épargne est déterminée par simple différence entre le niveau du revenu réel et celui de la consommation agrégée ; elle ne résulte pas, à la différence de QUEST III, d'un comportement d'optimisation intertemporelle à la Ramsey. Une fois déterminée, la consommation agrégée des ménages est ensuite décomposée en 27 postes, à partir d'une adaptation du système de demande AIDS proposé par Deaton *et al.* (1978). Le système d'allocation est influencé par l'évolution des prix relatifs des différents postes, de leurs élasticités revenu qui diffèrent selon le type de bien (supérieurs, inférieurs ou normaux), et par la démographie. Cette décomposition de la consommation se fait à plusieurs niveaux, avec notamment une distinction entre les biens non-durables de « luxe » ou de première nécessité, et les biens durables notamment le Textile et habillement, le Mobilier et le Transport, cette dernière catégorie incluant les Véhicules mais également les consommations de biens non durables associées qui sont les Carburants et les Autres services de transport.

Du côté des entreprises, leur activité est décomposée, en incluant également la production de services à caractères non marchands, en 30 secteurs de production, avec pour la France également la possibilité de regrouper ces secteurs au niveau de la nomenclature de la NACE rév. 2 en 38 secteurs. Dans chaque secteur la production est obtenue à partir de fonctions CES à 5 niveaux d'emboîtement : au premier les « services d'innovation » sont séparés des autres facteurs de production, les deuxième, troisième et quatrième niveau isolent des autres facteurs successivement les consommations intermédiaires hors énergies, le travail peu qualifié et le travail qualifié, puis le cinquième niveau sépare le stock de capital physique de l'énergie. Les entreprises sont supposées opérer en situation de concurrence imparfaite, et un taux de marge constant est appliqué au coût unitaire de production.

Les matrices input-output et les matrices de conversion transformant l'investissement des entreprises, des ménages et de l'État, et la consommation finale des ménages par poste, en demande en différents produits, permettent ensuite de transformer les différentes demandes formulées par les agents économiques en demandes par produit adressées aux producteurs nationaux et étrangers. Les différents secteurs institutionnels (le Gouvernement, les Ménages, Les Entreprises financières et non financières et l'Extérieur) sont ainsi reliés directement à la nomenclature en 30 secteurs du modèle, et les comptes d'agents détaillés du modèle permettent de représenter finement la formation du revenu des ménages et les évolutions du solde budgétaire et de l'endettement de l'État.

Enfin, pour le commerce extérieur, NEMESIS procède par pools regroupant ensemble, pour un pays donné, les exports/imports vers/depuis les autres pays européens ou le reste du monde. Il n'est donc pas possible de retracer les flux de commerce bilatéraux avec le modèle. Ces flux d'imports et d'exports sont influencés par la compétitivité prix et hors prix, et par des indicateurs d'activité.

Concernant la modélisation de l'innovation, comme nous allons le voir, l'approche sectorielle et hors de l'équilibre qui est suivie dans NEMESIS étend considérablement les possibilités d'analyse des effets de l'innovations qu'il est possible de faire par rapport à un modèle purement macroéconomique comme QUEST III. Les dynamiques des différents secteurs économiques dans NEMESIS sont en effet très contrastées et poussées par deux forces principales. La première vient du côté de la demande, et notamment des préférences non homothétiques des consommateurs faisant, en accord avec le loi de Engle, que la part du revenu qui est consommée en différents produits se modifie dans le temps, avec son augmentation. La seconde, qui a été soulignée notamment par Pasinetti (1981 ; 1993) est impulsée par le progrès technique lequel, étant plus ou moins rapide en fonction des secteurs, conduit à des substitutions entre produits et à des réallocations d'emplois entre les différentes activités économiques. Le processus de croissance économique dans le modèle est ainsi incompatible avec la description d'un sentier de croissance équilibrée, et l'innovation agit au contraire dans le modèle comme une accélération de l'histoire, accélérant le déclin des secteurs les moins progressifs, et la croissance des plus progressifs. Mais il y a à également des forces dans le modèle qui, à l'opposé, vont réduire l'ampleur des changements structurels impulsés par le progrès technique. Ce sont les forces que Verspagen et De Loo (1999, *ibid*) ont appelé les « effets égalisateurs des externalités de R&D », qui concernent principalement les effets des externalités de marché passant par les innovations incorporées aux biens de production utilisés par les différents secteurs. Les externalités de connaissance sont concentrées dans quelques secteurs industriels intensifs en R&D, par contre ces derniers sont à l'origine de très importants transferts de productivité vers les secteurs et les pays utilisant les technologies qu'ils produisent, comme depuis les secteurs produisant les TIC vers la plupart des autres secteurs, notamment les services. Le modèle NEMESIS ajoute enfin deux caractéristiques très importantes, complètement absentes des QUEST III et RHOMOLO, pour représenter l'innovation : les rôles joués (1) par les innovations de produit et (2) par les investissements dans les technologies TIC, les logiciels et la formation professionnelle, particulièrement importants pour représenter l'innovation les secteurs de services.

Le nouveau cadre utilisé pour représenter l'innovation dans NEMESIS : motivations et principaux concepts

Le nouveau cadre utilisé pour représenter l'innovation dans le modèle NEMESIS a été développé dans le contexte du projet de recherche européen SIMPATIC²⁴ qui s'est achevé en février 2015. Ce projet, coordonné par Reinhilde Veugelers de la KUL et du *think tank* Bruegel, rassemblait pour la première fois des chercheurs « micro » et « macro » avec une expérience forte sur l'évaluation des politiques de R&I, permettant d'approfondir et d'élargir considérablement l'expertise du modèle NEMESIS en y intégrant les derniers éclairages des études micro sur quatre points principaux : l'impact des soutiens à la R&D (subventions et crédits d'impôts), le rôle dans l'innovation des TIC et de facteurs intangibles autres que la R&D, les impacts distincts des innovations de produit et de procédé sur la performance économique et sur l'emploi, et la modélisation des externalités de connaissance avec une extension aux externalités générées par les investissements en TIC, en logiciels et en formation.

Dans ce nouveau cadre, l'approche des nouvelles théories de la croissance qui accorde un rôle central aux investissements en R&D et à leurs externalités, a été adaptée en introduisant dans l'analyse le concept introduit en premier par Bresnahan et Trajtenberg (1995, *Ibid*) de TIC comme technologies « générales » ou « habilitantes » (*ICT as GPT*). Il est ainsi fait un pont entre les nouvelles théories de la croissance et celle de l'organisation industrielle, ce qui élargit considérablement le spectre des problématiques qu'il est possible d'aborder avec le modèle, comme toutes celles relatives aux impacts du numérique, de l'intelligence artificielle, de la formation et des compétences.

La motivation principale de ces travaux sur le modèle a été l'évidence empirique, de plus en plus prégnante, montrant que les investissements dans les technologies de l'information ont été un moteur important de gains productivité et de la croissance économique dans les pays industrialisés, depuis le milieu des années 1990, avec un rôle très important dans le processus d'innovation dans la plupart des secteurs de production qui se confirme encore aujourd'hui. Les études empiriques, dont nous avons fourni un aperçu des principaux résultats dans l'introduction de la section 2, confirment ainsi que les TIC possèdent bien les propriétés que l'on attribue conceptuellement aux technologies génériques (GPT) qui doivent, à la suite de Lipsey *et al.* (2006) être (1) améliorables de façon très importante (*Improvement*), (2) utilisables partout à grande échelle (*Pervasiveness*) et (3) avoir une capacité à créer des opportunités d'innovation très importantes dans les secteurs utilisateurs (*Ability to spawn innovation*). Les études économétriques disponibles, même si elles restent peu nombreuses, montrent

²⁴ <https://cordis.europa.eu/project/id/290597/reporting/fr>

également (Cf. section 2) (1) qu'aux investissements dans les TIC et dans les actifs complémentaires que sont les logiciels et la formation sont associés, comme pour la R&D, « des rendements en excès » et des effets spécifiques d'externalités qui peuvent être source de croissance endogène, (2) que les élasticités de la PTF aux investissements dans les TIC sont proches de celles trouvées habituellement pour la R&D, et centrées autour de 0,8, et les ordres de grandeurs semblent être similaires pour les logiciels et la formation, et (3) qu'il existe des complémentarités fortes entre les investissements dans les TIC et les investissements dans un large spectre d'actifs intangibles autres que la R&D, le lien avec la R&D ressortant lui-même plus indirect en relation avec les « effets de réseau » et des complémentarités stratégiques existant entre les entreprises des différents secteurs de production. Nous allons maintenant développer chacun de ces trois derniers points.

Une fonction d'innovation tri-dimensionnelle

Comme NEMESIS est un modèle sectoriel, c'est d'abord à ce niveau qu'y est représentée l'innovation. Cette fois à la différence du modèle QUEST III et des modèles NTC que nous avons passés en revue dans la section 2, les innovations, A , sont une fonction CES de trois sous-innovations ou « composantes », A^j , résumant la stratégie d'innovation des entreprises, qui va s'appuyer à la fois sur des investissements dans la R&D, dans les TIC (le matériel) et dans les autres intangibles (OI) (les logiciels et la formation professionnelle dans NEMESIS), mais dans des proportions plus ou moins importantes selon les secteurs auxquels elles appartiennent. Ces trois « composantes » de l'innovation sont combinées par une fonction $G(.)$ à rendements d'échelle constants de type CES, et avec une élasticité de substitution inférieure à 1 pour traduire leur forte complémentarité. Nous avons pour un secteur i dans un pays donné :

$$(46) A_{it} = G(A_{it}^j) = SC_{Ai} \cdot \left[\sum_j \delta_i^{j^{1+\rho_A}} \cdot A_{it}^{j^{-\rho_A}} \right]^{-\frac{1}{\rho_A}}, \quad j = R\&D, TIC, OI,$$

avec SC_{Ai} un paramètre d'échelle, δ_i^j des paramètres de distribution reflétant la part de chaque composante dans le coût total des innovations, et $\sigma_A = \frac{1}{1+\rho_A}$, l'élasticité de substitution entre les trois composantes.

Chaque composante de l'innovation, A^j , est elle-même une fonction positive des externalités de connaissances reçues, $KNOW^j$ et du taux d'investissement du secteur, $\frac{j_{it}}{Y_{it}}$, dans le facteur d'innovation j . Nous avons :

$$(47) A_{it}^j = G^j \left(KNOW_{it}^j, \frac{j_{it}}{Y_{it}} \right) = SC_i^j \cdot KNOW_{it}^j \lambda_i^j \frac{j_{it}}{Y_{it}}, j = R\&D, TIC, OI,$$

avec SC_i^j , un paramètre d'échelle et λ_i^j un paramètre de productivité positif. L'idée sous-jacente dans cette formulation est que pour chaque composante de l'innovation, j , l'impact des connaissances disponibles est une fonction positive croissante de l'effort d'investissement du secteur dans le facteur d'innovation j . Ainsi plus un secteur investit en R&D, plus il est mesure d'absorber les connaissances générales scientifiques et technologiques pour les transformer en innovations technologiques, plus il investit en TIC mieux il est à même d'absorber les savoir-faire spécifiques dans l'utilisation des matériels TIC et de les adapter à ses besoins, et enfin le plus il investit en OI le mieux il pourra profiter des progrès généraux dans le génie logiciel, ou dans les méthodes pour adapter les compétences et l'organisation des tâches de production aux exigences de l'innovation.

En introduisant maintenant l'expression des composantes de l'innovation donnée par l'équation (47) dans l'équation (46), et en passant en taux de croissance avec l'hypothèse qu'à long terme le taux d'investissement dans les différents facteurs d'innovation est constant, on obtient alors l'expression du taux de croissance de l'innovation dans le secteur :

$$(48) \frac{\Delta A_{it}}{A_{it-1}} = \sum_j \varepsilon_{Aj}^A \cdot \lambda_i^j \cdot \frac{j_{it}}{Y_{it}} \cdot \frac{\Delta KNOW_{it}^j}{KNOW_{it-1}^j}, j = RD, ICI, OI$$

où ε_{Aj}^A sont les élasticités de l'innovation à chacune des trois composantes découlant de l'expression de la fonction $G(\cdot)$. Nous voyons d'après cette équation que le taux de croissance de l'innovation dans un secteur est finalement une combinaison linéaire à travers les élasticités ε_{Aj}^A , des contributions de chaque composante de l'innovation, $\lambda_i^j \cdot \frac{j_{it}}{Y_{it}} \cdot \frac{\Delta KNOW_{it}^j}{KNOW_{it-1}^j}$, à l'innovation globale du secteur. Comme la somme de ces élasticités est égale à 1, ($\sum_j \varepsilon_{Aj}^A = 1$), une façon possible d'interpréter les coefficients est de considérer qu'ils mesurent, au sein d'un secteur donné, la proportion des firmes qui appuient leurs stratégies d'innovation sur la R&D, sur les ICT ou sur les OI. Mais comme l'ont montré par exemple Srholec et Verspagen (2012) sur un échantillon de 13 055 entreprises de 13 pays européens issu de la troisième édition de l'enquête européenne sur l'innovation, et comme le confirment les études économétriques récentes sur les complémentarités existant entre les trois facteurs d'innovation (Cf. *infra*, section 2), la réalité est plutôt que les entreprises qui basent leurs stratégies d'innovation sur un seul « ingrédient », notamment la R&D, sont une petite minorité. Srholec et Verspagen (*ibid*) montrent au contraire que pour la plupart des entreprises la stratégie d'innovation s'appuie sur au moins trois des quatre facteurs d'innovation qu'ils identifient : (1) la R&D et les activités liées à l'acquisition ou au développement de facteurs intensifs en connaissances (droits de propriété intellectuelle, etc.), (2)

l'introduction de changement organisationnels, l'adaptation des tâches productives et des stratégies marketing, (3) l'acquisition de biens de production innovants et de technologies innovantes qui sont externes à l'entreprises, ou encore (4) la modification des procédés de fabrication en réponse aux exigences environnementales de leurs clients. Les auteurs trouvent néanmoins, à la suite de Leiponen et Drejen (2007), que les stratégies d'innovation des entreprises sont très hétérogènes au sein d'un même secteur, mais qu'elles diffèrent également de façon très significative entre les secteurs (en utilisant une nomenclature proche de celle du modèle NEMESIS) et des pays. Les valeurs respectives des « poids » $\varepsilon_{A_j}^A$ résument ainsi plutôt la stratégie moyenne qui est utilisée pour innover dans les différents secteurs et dans les différents pays représentés dans le modèle NEMESIS.

La modélisation des externalités de connaissance

Les méthodes utilisées dans NEMESIS pour modéliser les externalités de connaissances dont un secteur bénéficie ont été développées dans le cadre du projet de recherche européen DEMETER²⁵, et présentent l'avantage de mesurer ces externalités dans les dimensions intra-/inter-sectorielle et intra-/inter-nationale en même temps. Nous avons pour chaque facteur d'innovation j :

$$(49) \text{KNOW}_{it}^j = \sum_z \omega_{iz}^j \cdot S_{jzt-\Delta}, j = RD, ICI, OI,$$

avec ω_{iz}^j les poids mesurant pour chaque facteur j et chaque secteur i les externalités reçues à la date t depuis les différentes sources z de type pays-secteur, $S_{jzt-\Delta}$ les stocks de facteur j accumulés par la source z , et le paramètre Δ mesurant le retard à partir duquel les investissements dans chaque facteur commencent à produire des externalités. Les stocks de facteurs sont déterminés classiquement par la méthode de l'inventaire perpétuel :

$$(50) S_{jit} = (1 - \delta_j) \cdot S_{jit-1} + j_{it}, j = RD, ICI, OI,$$

avec δ_j le taux de déclassement annuel du facteur j , qui a été fixé par Corrado *et al.* (2012) à 15 % pour la R&D, à 0,315 % pour les TIC et à 0,4 % pour les logiciels et la formation. Pour la R&D, la définition du facteur RD_{it} est un peu différente de celle utilisée jusqu'ici, regroupant ici à la fois les investissements du secteur i dans la R&D, que nous renommerons IRD_{it} mais également les externalités de

²⁵ <https://cordis.europa.eu/project/id/217397/reporting/fr>. Ce projet de recherche coordonné par Paul Zagamé, directeur scientifique de l'équipe ERASME, s'est achevé en 2012. Il avait notamment pour objectifs de mieux appréhender théoriquement et empiriquement (1) le rôle joué dans l'innovation par les externalités de connaissance, (2) les relations entre les investissements en TIC et l'évolution de la productivité sectorielle et (3) les complémentarités/substituabilités entre actifs tangibles et intangibles (Cf. Le Hir, 2012).

connaissances qu'il reçoit de la recherche publique nationale, $PIRD_{it-2}$ après un délai que nous avons posé à 2 années. Nous avons ainsi pour le stock de R&D finalement « utilisé » par chaque secteur :

$$(51) SRD_{it} = (1 - \delta_j) \cdot SRD_{it-1} + IRD_{it} + \alpha_{pi} \cdot PIRD_{t-2}, j = RD, ICI, OI,$$

avec le coefficient α_{pi} mesurant la part des investissements dans la recherche publique qui va bénéficier directement au secteur i , les coefficients α_{pi} étant dans NEMESIS proportionnels à l'effort relatif d'investissement en R&D de chaque secteur.

Les paramètres de diffusion des connaissances ω_{iz}^j sont déterminés à partir de matrices de citations de brevets entre pays et secteurs établies au niveau mondial en utilisant les bases de données de l'offices de brevets européen (PATSTAT), américain (USPTO) et japonais (JPO). Ces matrices²⁶ combinent les citations de brevets allouées entre pays par classes technologiques, avec la matrice de concordance de l'OCDE (Johnson, 2002) pour allouer ensuite ces citations entre secteurs productifs au moyen de deux approches différentes. La première considère les secteurs qui vont industrialiser les innovations portées par les brevets, ce sont les secteurs producteurs ou IOM (pour « *Industry Of Manufacturing* ») ; la seconde les secteurs qui utilisent ces technologies, ce sont les secteurs utilisateurs ou SOU (pour « *Sector Of Use* »). Pour les externalités de R&D on utilise une matrice de type IOM-IOM retraçant les externalités de connaissances pures entre les secteurs qui investissent en R&D et industrialisent les nouvelles technologies. Ce sont les secteurs industriels pour l'essentiel avec l'idée que plus deux secteurs sont proches au niveau des classes technologiques auxquelles leurs brevets appartiennent, plus ils seront en mesure de s'échanger des connaissances. Pour les externalités associées aux TIC et aux OI, on utilise au contraire une matrice SOU-SOU retraçant les externalités de connaissances, moins codifiées que pour la R&D et relatives à des problématiques davantage organisationnelles, entre les secteurs qui adoptent les technologies, c'est-à-dire entre l'ensemble des secteurs et principalement les industries de services. L'idée est cette fois que plus deux secteurs utilisent des technologies similaires, plus leurs méthodes de production sont proches, et plus ils seront en mesure de s'envoyer des connaissances sur la façon d'adapter les nouvelles technologies, de faire évoluer les compétences de la main-d'œuvre et de réorganiser leur processus de production.

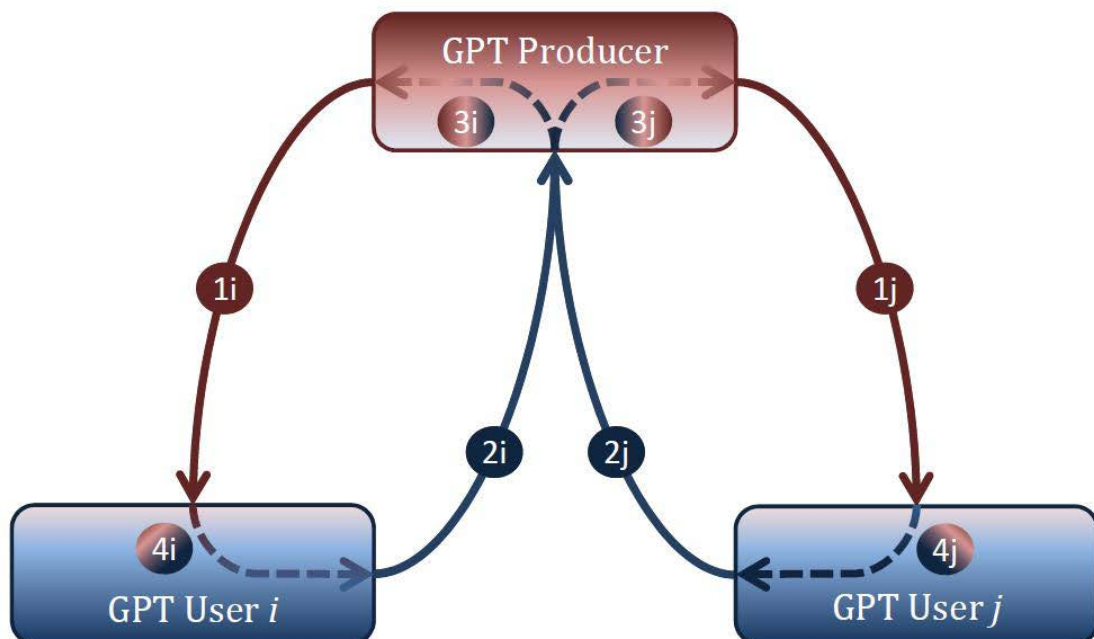
Le rôle des complémentarités stratégiques entre secteurs productifs

Ce nouveau cadre utilisé dans NEMESIS pour représenter l'innovation à partir du concept de TIC comme technologie générique ou habilitante, introduit dans le modèle, au-delà des externalités de

²⁶ Les matrices ont été développées par Meijers et Verspagen (2010) dans le cadre du projet de recherche DEMETER ; voir aussi Belderbos et Mohnen (2013).

connaissances entre les secteurs utilisateurs des nouvelles technologies que nous venons de décrire, des externalités à la fois « verticales » entre secteurs producteurs et secteurs utilisateurs, et « horizontales » entre secteurs utilisateurs. Les externalités horizontales courent dans deux sens (Figure 1) : les innovations des secteurs producteurs augmentent la productivité des secteurs utilisateurs (flèches 1i et 1j) et inversement plus les « utilisateurs » sont nombreux, plus les incitations sont fortes pour les « producteurs » d'améliorer leurs technologies (flèches 2i et 2j). Ces externalités reflètent les complémentarités d'innovation existant entre les deux types de secteurs, et un problème d'appropriabilité des résultats de l'innovation allant dans les deux sens, que Holstrom (1982) et Tirole (1994) ont décrit théoriquement comme un problème d'« aléa moral bilatéral ». L'externalité horizontale entre secteurs utilisateurs lie les intérêts des agents adoptant les technologies : plus les utilisateurs sont nombreux, plus la demande augmente, conduisant les producteurs à investir davantage dans la recherche pour améliorer les technologies, ce qui en retour réduit encore les coûts dans les secteurs utilisateurs. Cette externalité crée un effet positif d'entraînement dans l'adoption des TIC reflétant le caractère générique de ces technologies. Sur la Figure 1, ces caractéristiques sont décrites par les flèches 2j, - 3j -1i pour les externalités générées par l'utilisateur i sur l'utilisateur j, et réciproquement par les flèches 2j, - 3j -1i pour les externalités courant dans l'autre sens.

Figure 1 : Les mécanismes des TIC comme technologies génériques ou habilitantes (GPT)



Source : Le Hir (2012) et Fougeyrollas et al. (2015)

La calibration des effets des innovations sur la performance économique et sur le volume d'emploi des secteurs

Pour revenir maintenant au niveau d'un secteur et sur la façon dont les innovations qu'il met en place vont modifier sa performance économique et son volume d'emploi *ex-ante*, c'est-à-dire avant les effets des complémentarités d'innovation et de « bouclage » macroéconomique décrits plus haut, NEMESIS opère une distinction centrale entre les effets des innovations de « procédé » et ceux des innovations de « produit ».

D'une part, dans la plupart des études qui désagrègent de cette façon les effets des innovations, on trouve généralement des rendements supérieurs pour les entreprises des innovations de procédé par rapport aux innovations de produit. C'est le cas par exemple dans la plupart des études citées par Hall *et al.* (2009, *ibid*) comme celles de Clark et Griliches (1984), Griliches et Lichtenberg (1984), Link (1982), Terleckyj (1982), Scherer (1982, *ibid* ; 1983) et Hanel (1994). Comme l'expliquent Hall *et al.* (*ibid*) il existe de nombreuses raisons à cela, comme le simple fait que les deux types d'innovations²⁷ sont souvent complémentaires et leurs impacts difficiles à séparer empiriquement, ou que l'innovation de produit entraîne souvent une phase de « démarrage » et de « débogage » réduisant ses rendements à court terme. Mais, de façon plus importante, les effets des innovations de produit sont difficiles à mesurer en raison de l'insuffisante prise en compte des améliorations de qualité des produits dans les indices de prix, notamment en ce qui concerne les services et la production non marchande.

D'autre part, Hall (2011) montre analytiquement que les innovations de produit ont des impacts toujours positifs sur l'activité et l'emploi des entreprises si l'élasticité prix de la demande est inférieure à 0, alors que les effets des innovations de procédé sur l'activité et l'emploi sont toujours faibles ou nuls si l'élasticité prix de la demande est inférieure à 1 en valeur absolue, résultats qu'elle confirme (Hall, 2011, *ibid*) sur un échantillon d'entreprises industrielles appartenant à 15 pays européens (CIS 3). De façon similaire, Peters *et al.* (2014) montrent que les effets des innovations de procédé et des innovations organisationnelles sur l'emploi sont inférieurs à ceux des innovations de produit, et Damijan *et al.* (2014) concluent de leur revue de littérature que comme pour l'industrie, les études sur les services trouvent généralement un impact sur l'emploi négatif après les innovations de procédé et positif avec les innovations de produit, et qu'« aucune différence majeure » ne semble émerger de la littérature, ce qui confirment également Harrison *et al.* (2008) et Bogliacino *et Pianta* (2010).

²⁷ Dans toutes ces études l'« innovation » est en fait proxisée par les dépenses de R&D orientées vers l'amélioration des procédés ou des produits (amélioration de la qualité des produits existants ou nouvelles variétés de produits).

Dans NEMESIS, à la différence du modèle QUEST III et du modèle RHOMOLO qui ne représentent que les innovations de procédé, il nous est ainsi apparu indispensable de bien distinguer analytiquement les effets deux types d'innovations. La tâche est rendue difficile puisque les innovations de procédé et de produit sont le plus souvent imbriquées, à un nouveau produit correspond le plus souvent l'introduction d'une nouvelle méthode de production, et à un nouveau procédé de fabrication celle d'un nouveau produit, comme la labélisation « vert » d'anciens produits autrefois peu respectueux des normes environnementales. La solution retenue dans le modèle a été de considérer que les innovations mises en place par un secteur, A_{it} , lui permettent à la fois d'améliorer son procédé de fabrication, c'est l'« effet PTF », et de mettre au point de nouvelles variétés de produits et/ou d'augmenter la qualité moyenne des produits existants, c'est l'« effet qualité ».

L'« effet PTF » des innovations s'obtient analytiquement en partant de la fonction de production $F(.)$ du secteur combinant au premier niveau de la structure productive les innovations A_{it} à l'emploi des facteurs de production ordinaires X_{it} :

$$(52) \quad Y_{it} = (A_{it-1}, X_{it}) = C_i \cdot \left[\delta_{A_i}^{1+\rho_Y} \cdot A_{it-1}^{-\rho_Y} + \delta_{X_i}^{1+\rho_Y} \cdot X_{it}^{-\rho_Y} \right]^{\frac{1}{\rho_Y}}$$

avec C_i un paramètre d'échelle, δ_{A_i} le paramètre de distribution représentant « la part des innovations » dans le coût total de production, $\delta_{X_i} = 1 - \delta_{A_i}$ représentant similairement celle des facteurs de production ordinaires, et $\sigma_Y = \frac{1}{1+\rho_Y}$ l'élasticité partielle de substitution entre les innovations et les facteurs de production ordinaires. Nous voyons que les innovations entrent dans cette équation après un délai de maturation d'un an. L'« effet PTF » se calcule alors, après avoir inversé l'équation (52) en X , comme « moins » l'élasticité de la demande de facteurs de production ordinaires aux innovations ; soit :

$$(53) \quad \alpha_i = - \frac{\partial \ln(X_{it})}{\partial \ln(A_{it-1})} = \frac{\delta_{A_i}}{1-\delta_{A_i}}$$

où l'on a supposé pour simplifier, comme c'est le cas dans le modèle NEMESIS, que l'élasticité de substitution partielle entre les innovations et les facteurs de production ordinaires est parfaite ($\sigma_Y = 1$). Cet « effet TFP » mesuré par l'élasticité α_i traduit ainsi combien une augmentation de 1 % des innovations va permettre de réduire, pour un niveau de production donné, l'emploi de facteurs de production ordinaires. Comme d'après l'équation (52) l'innovation a « *ex-ante* » un effet « neutre » au sens de Hicks sur l'emploi des facteurs de production ordinaires, cette élasticité exprime ainsi également dans quelle mesure les « effets TFP » de l'innovation vont contribuer à augmenter la productivité du travail dans les différents secteurs de production. Ensuite, comme que la valeur de

l'élasticité est proportionnelle à celle du paramètre δ_{A_i} , mesurant la part des innovations dans le coût total de production, on voit que l'impact des innovations sur la productivité dans le modèle NEMESIS est plus important dans les secteurs qui investissent le plus dans l'innovation, comme nous l'enseignent les résultats des études économétriques de la section 2. Remarquons finalement que d'après l'équation (48), si les intensités des facteurs d'innovations ($\frac{j_{it}}{Y_{it}}, j = RD, ICI, OI$) sont constantes à long terme, le taux de croissance des innovations va évoluer proportionnellement à la croissance des externalités de connaissance ($\frac{\Delta KNOW_{it}^j}{KNOW_{it-1}^j}, j = RD, ICI, OI$). Ainsi, si les entreprises du secteur i répercutent intégralement la baisse des coûts annuels de production qui va en résulter en baisses de prix, et si l'élasticité prix de la demande, ε_i^D , est supérieure à 1 en valeur absolue, alors les « effets TFP » des innovations auront *ex-ante* un effet positif sur l'emploi dans le secteur. Dans tous les autres cas, l'impact sur l'emploi sera comme annoncé négatif. C'est toujours le cas dans un modèle économétrique comme NEMESIS, où les élasticité prix de la demande sont généralement inférieures à 1 même à long terme. L'effet sur la croissance du secteur sera lui toujours positif et plus ou moins fort selon le comportement de marge adopté par les entreprises, et l'importance de l'élasticité prix de la demande qui leur est adressée.

L'« effet qualité » des innovations s'obtient ensuite en supposant que les clients des entreprises dans un secteur donné ont un « goût pour la nouveauté » faisant augmenter leur demande dès que le prix ajusté de la qualité des produits qui sont vendus diminue, $\frac{P_{Y_{it}}}{Q_{it}}$, avec $P_{Y_{it}}$ le prix de marché des produits et :

$$(54) Q_{it} = A_{it-1} \alpha'_{it}$$

leur indice de qualité moyenne. Nous voyons par l'équation (54) que l'indice de qualité moyenne des produits suit la croissance des innovations avec un élasticité $\alpha'_i > 0$ dans le modèle NEMESIS. La valeur de cette élasticité est difficile à déterminer empiriquement, en l'absence d'études significatives sur le sujet. Comme les innovations de procédé et de produit sont le plus souvent indissociables, la solution retenue dans NEMESIS pour fixer la valeur de α'_i a été de considérer que l'« effet qualité » est le plus fort dans les secteurs où l'« effet PTF » est lui-même le plus fort, avec un coefficient de proportionnalité $m_i > 0$ tel que l'« effet qualité » évolue dans le temps proportionnellement à « effet PTF » :

$$(55) \alpha'_i = m_i \cdot \alpha_i$$

Pour la calibration toute la question est finalement le choix de la valeur du paramètre m_i , c'est-à-dire l'importance relative des innovations de produit par rapport aux innovations de procédé que l'on peut exprimer par le coefficient de répartition $s_i^P = \frac{m_i}{1+m_i}$, mesurant « la part » des innovations de produit dans les innovations d'ensemble, avec également $1 - s_i^P = \frac{1}{1+m_i}$, « la part » des innovations de procédé. Il faut rappeler qu'à la différence de l'« effet PTF » des innovations qui augmente la productivité du travail et peut impacter *ex-ante* négativement le volume d'emploi dans le secteur, leur « effet qualité » accroît dans le modèle l'activité et l'emploi du secteur proportionnellement, avec l'élasticité $-\varepsilon_i^D \cdot m_i \cdot \alpha_i > 0$, dès lors que les innovations ne conduisent pas les entreprises à augmenter leur taux de marge, comme c'est le cas dans le modèle NEMESIS où il est constant.

Tableau 2 : Effet *ex-ante* des innovations sur l'activité et l'emploi dans un secteur

	Effet PTF	Effet Qualité	Effet total
Activité	$-\varepsilon_i^D \cdot \alpha_i$	$-\varepsilon_i^D \cdot m_i \cdot \alpha_i$	$-\varepsilon_i^D \cdot \alpha_i \cdot (1 + m_i)$
	> 0	> 0	> 0
Emploi	$-\alpha_i \cdot (1 + \varepsilon_i^D)$	$-\varepsilon_i^D \cdot m_i \cdot \alpha_i$	$-\alpha_i \cdot [1 + \varepsilon_i^D \cdot (1 + m_i)]$
	> 0 si $\varepsilon_i^D < -1$	> 0	> 0 si $\varepsilon_i^D \cdot (1 + m_i) < -1$

Le Tableau 2 résumant les effets *ex-ante* des innovations sur l'activité et l'emploi au sein d'un secteur souligne ainsi que les impacts de l'« effet PTF » et de l'« effet qualité » sur l'activité sont identiques lorsque les « parts » de l'innovation de procédé et de produits dans l'innovation totale du secteur sont identiques ($m_i = 1$ et $s_i^P = \frac{1}{2}$), et que leur effet total sur l'activité est toujours positif. Sur l'emploi, l'impact de l'« effet qualité » est toujours positif mais comme celui de l'« effet PTF » n'est positif que si l'élasticité prix de la demande est inférieure à -1 ($\varepsilon_i^D < -1$), l'effet total sur l'emploi reste indéterminé et n'est positif que pour $\varepsilon_i^D \cdot (1 + m_i) < -1$. La présence de l'« effet qualité » permet toutefois de diminuer la valeur de l'élasticité prix de la demande (en valeur absolue) qui est nécessaire pour que les innovations aient un effet total positif sur l'emploi. Par exemple lorsque les parts des innovations de procédé et de produit sont les mêmes ($m_i = 1$), il suffit que l'élasticité prix de la demande soit inférieure à -0,5 pour obtenir un effet positif des innovations sur l'emploi, au lieu de -1 s'il n'y avait que des innovations de procédé. Soulignons enfin qu'en raison de l'impact potentiellement

négatif des innovations de procédé sur l'emploi, l'effet total des innovations sur l'activité sera toujours supérieur, en pourcentage, aux effets qui sont mesurés pour l'emploi.

Nous voyons que ce partage entre innovations de procédé et innovations de produit joue un rôle central pour calibrer les effets totaux des innovations sur l'activité et sur l'emploi dans le modèle NEMESIS. Dans la calibration « par défaut » du modèle, le paramètre m_i est fixé à 0,5 impliquant que dans le modèle la part des innovations de produit est de 33 %, et celle des innovations de procédé de 67 %. Avec ce paramétrage, avec des valeurs moyennes d'environ 0,1 pour α_i , conformément aux résultats moyens de la littérature économétrique présentée dans la section 2, et d'environ -0,8 pour l'élasticité prix de la demande (ε_i^D), une augmentation d'1 % de l'innovation dans le modèle a pour effet d'accroître *ex-ante* le niveau d'activité de 0,12 % et le volume de l'emploi de 0,02 %, soit un gain de PTF de 0,1 %. Par comparaison, dans des modèles d'équilibre général comme QUEST III et RHOMOLO dans lesquels les élasticités prix ont des valeurs plus proches de -1 à long terme, mais dans lesquels les « effets qualités » des innovations sont absents, les effets *ex-ante* des innovations seraient, toutes choses égales par ailleurs, proches de 0,1 % pour l'activité et de 0 % pour l'emploi à long terme, avec un effet similaire à NEMESIS de 0,1 % pour la PTF. Ainsi il n'est pas étonnant qu'avec ces deux modèles les impacts estimés des politiques de soutien à la R&I sur l'emploi soient faibles.

Résumé sur les propriétés de croissance du modèle

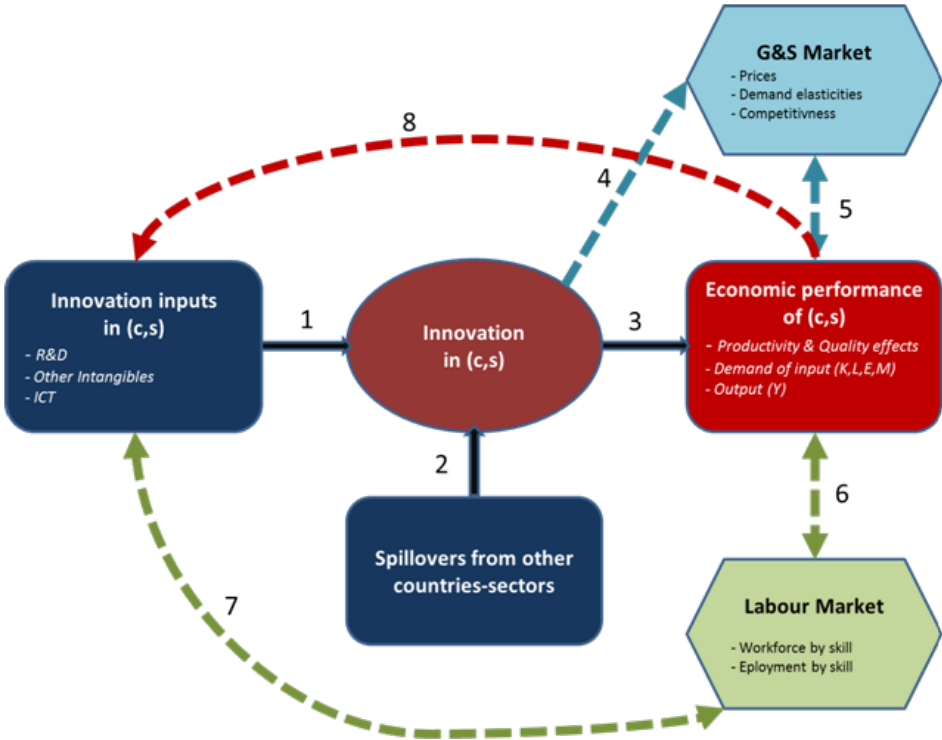
En utilisant l'équation (48) pour le taux de croissance des innovations à long terme et en utilisant l'expression du Tableau 2 pour l'élasticité de l'activité aux innovations, on peut terminer de décrire, toujours *ex-ante*, c'est-à-dire sans prise en compte des effets des complémentarités d'innovation et de « bouclage » macroéconomique, comment évolue le taux de croissance (endogène) de l'activité à long terme au sein d'un secteur dans NEMESIS. Nous avons :

$$(56) \frac{\Delta Y_{it}}{Y_{it-1}} = -\varepsilon_i^D \cdot \alpha_i \cdot (1 + m_i) \cdot \sum_j \varepsilon_{Aj}^A \cdot \lambda_i^j \cdot \frac{j_{it}}{Y_{it}} \cdot \frac{\Delta KNOW_{it}^j}{KNOW_{it-1}^j}, j = RD, ICI.$$

Nous voyons d'après l'équation (56) qu'il n'y a pas de croissance endogène au niveau d'un secteur ou au niveau macroéconomique dans NEMESIS sans croissance des externalités de connaissance. Cette propriété relie, d'un point de vue théorique, la modélisation de l'innovation dans le modèle à la littérature sur la croissance semi-endogène où la source ultime de la croissance résulte de l'augmentation exogène des externalités de connaissance, mesurées ici au niveau mondial, sous l'influence des évolutions démographiques. Dans NEMESIS, cette propriété de croissance semi-endogène a simplement été étendue à des sources d'externalités autres que celles provenant des activités de recherche. La conséquence est que la valeur du taux de croissance endogène dans

NEMESIS est fortement dépendante des hypothèses qui sont faites sur la croissance des externalités dans le scénario de référence du modèle. On retient généralement l’hypothèse dans ce scénario de référence, qui va jusqu’en 2050, que le taux d’investissement dans chacun des facteurs d’innovation est constant à moyen- (2025 environ) long terme (2050), et que la croissance des connaissances est influencée par celle du PIB mondial. Nous voyons ensuite que l’approche de la croissance utilisée dans NEMESIS se conforme également à celle des modèles de croissance endogène de seconde génération initiée par Young (1998, *ibid*), Aghion et Howitt (1998, *ibid*), Dinopoulos et Thomson (1998, *ibid*), Peretto (1998, *ibid*) et Howitt (1999, *ibid*) : le taux de croissance de long terme est une fonction positive du taux d’investissement dans les facteurs d’innovation, qui peut être influencé par des instruments de politique économique. Il résulte enfin des deux propriétés précédentes que la façon dont les politiques visant à augmenter de façon permanente l’effort de R&I des entreprises agissent sur la croissance se divise en deux effets : (1) l’augmentation de la capacité des entreprises à exploiter les connaissances existantes (« effet d’intensité »), qui est un effet de long terme, et (2) la création de nouvelles connaissances qui accroissent la productivité des facteurs d’innovation (« effet connaissances »), qui est un effet davantage transitoire à défaut d’être en mesure de déplacer significativement la frontière technologique dans le temps. Dans le modèle, ces deux effets peuvent jouer des rôles très différents en fonction, du secteur, du pays, du facteur d’innovation, ou encore de la temporalité qui est considérée

Figure 2 : Résumé du fonctionnement de l’innovation dans NEMESIS.



Si l'on ajoute aux propriétés de croissance précédentes, analysées au sein d'un secteur, l'influence exercé dans le modèle par les complémentarités d'innovations et le bouclage macroéconomique, on peut alors finir de décrire (Figure 2) comment l'innovation agit à travers le système économique d'ensemble dans NEMESIS.

Les innovations dans chaque secteur (s) et dans chaque pays (c) résultent d'investissement dans trois catégories de facteurs d'innovation, la R&D, les TIC, et les OI (logiciels et formation). En plus de leurs propres investissements, les entreprises bénéficient des externalités de connaissance émises par les autres entreprises, secteurs et pays, qui accroissant leur capacité à innover. La combinaison de ces deux éléments – les investissements en facteurs d'innovation et les externalités – génère des innovations (flèches 1 et 2) conduisant (flèche 3) à une augmentation de la performance économique des entreprises, dont la productivité, la qualité des produits, et la demande, vont augmenter (flèche 4). Au niveau des effets du bouclage macroéconomique, les interactions entre le marché des biens et services, le marché du travail, et les activités d'innovation (flèches 5 à 8), vont déterminer les niveaux de l'emploi, des revenus, de la demande, et de l'investissement dans l'innovation, qui vont s'établir à l'équilibre. Enfin, dans une perspective dynamique, il ne faut pas oublier le rôle tenu dans ce bouclage par les complémentarités stratégiques existant entre les utilisateurs des technologies TIC, et les secteurs qui les produisent et les développent.

3.3. L'innovation dans le modèle RHOMOLO

RHOMOLO est un modèle d'équilibre général dynamique spatial développé par l'unité de Séville du Centre de recherche commun (JRC) de la Commission européenne, pour assister la Commission européenne dans l'évaluation des réformes structurelles, des politiques de cohésion et de développement, en incluant les politiques de soutien à la recherche, à un niveau spatial détaillé. Le modèle distingue 267 économies régionales en interaction et recouvrant l'ensemble de UE (27) plus le Royaume-Uni. Dans chaque région l'activité économique est découpée en dix secteurs : l'agriculture, la Pêche et la Forêt, les Mines et les fournisseurs d'énergie et de services de transports, la Construction, les Services d'information et de communication, la Finance, l'assurance et l'immobilier, les Activités de soutien aux entreprises, les Services publics, et les Autres services marchands. Chaque région a son gouvernement, un ménage représentatif et des entreprises opérant en concurrence pure et parfaite ou en monopole selon les secteurs. Du côté des entreprises, celles en concurrence monopolistique produisent des variétés de biens différentes et imparfaitement substituables. Leurs fonctions de production sont à rendements d'échelle constants sur les facteurs de production ordinaires, mais il existe des coûts d'entrée dans l'industrie. Les fonctions de production sont de type CES avec un emboîtement à trois niveaux : au premier niveau les consommations intermédiaires sont séparées des

autres facteurs, au deuxième niveau le capital est séparé du travail et au troisième le travail est finalement décomposé en trois niveaux de qualification, comme dans QUEST III. Le marché du travail est en concurrence imparfaite avec un fonctionnement pouvant au choix correspondre à un modèle WS-PS (comme dans QUEST III) ou à une courbe de Philips augmentée (comme dans NEMESIS). Les ménages ont des préférences de type CES. Ils consomment de tous les produits, et épargnent une fraction s constante de leurs revenus. Le gouvernement lève les taxes, réalise la dépense et l'investissement publics, et prend en charge les transferts vers les différents agents de l'économie. Le commerce extérieur, à la différence des deux autres modèles, n'a pas lieu avec les autres pays mais avec les autres régions européennes. Les flux de commerce sont bilatéraux et influencés par les coûts de production et de transport. Enfin, comme pour NEMESIS, le grand niveau de détail de RHOMOLO interdit toute dynamique tournée vers l'avenir et la résolution du modèle est récursive dynamique.

Modélisation de l'innovation et propriétés de croissance à long terme

Dans RHOMOLO l'innovation est modélisée de façon relativement simple et repose sur les investissements publics et privés dans la recherche. Dans la version courante du modèle les investissements en R&D ne sont pas endogénéisés et la façon dont les investissements dans la recherche influencent le fonctionnement du modèle passe par deux canaux : (1) un « effet de demande temporaire » et (2) des « effets structurels permanents ». Les « effets de demande temporaires » sont présents dans les trois modèles présentés ici et retracent les effets de multiplicateur keynésien que provoquent à court terme les investissements dans la recherche, qui s'accompagnent généralement de pressions inflationnistes qui agissent négativement sur la compétitivité, le temps que les innovations provoquées par les investissements ne produisent des effets significatifs sur la productivité. Les « effets structurels permanents » viennent ainsi de l'amélioration de la productivité en réponse à l'accumulation des stocks de R&D public et privé qui jouent un rôle symétrique dans le modèle. Nous avons :

$$(57) \frac{\Delta PTF_{rt}}{PTF_{rt-1}} = \sigma_r^{RD} \cdot \frac{\Delta R_{rt}}{R_{rt-1}},$$

où σ_r^{RD} mesure l'élasticité de la PTF dans la région r à une augmentation du stock de R&D, public et privé, dans cette région.

Éléments sur la calibration et le fonctionnement des mécanismes d'innovation

Nous voyons qu'analytiquement les mécanismes d'innovations présents dans le modèle RHOMOLO restent assez frustes. Ce constat est renforcé par la méthode de calibration utilisée pour l'élasticité de la PTF à la R&D dans le modèle qui n'est pas différenciée au niveau sectoriel mais seulement au niveau

régional : les régions avec la plus forte intensité de R&D ont l'élasticité la plus forte, ce qui est conforme à la théorie et aux résultats des études empiriques, mais dans une région l'élasticité est identique pour tous les secteurs, ce qui est difficilement justifiable. Nous voyons également que les externalités de R&D ne sont pas vraiment modélisées, notamment celles entre les différentes régions européennes. La raison la plus évidente de ces limitations et de ces simplifications est ainsi certainement le manque de données au niveau régional pour représenter les phénomènes d'innovations, et notamment les externalités de connaissances qui jouent pourtant un rôle central pour la croissance économique.

3.4. Que nous disent chacun des trois modèles dans le cas d'Horizon Europe ?

Pour compléter cette présentation méthodologique des modèles macroéconomiques appliqués aux politiques de R&I, voici finalement une illustration de leur utilisation dans le cas de l'évaluation *ex-ante* du prochain programme cadre pour la R&I de la Commission européenne, Horizon Europe. Cette évaluation a été réalisée à la demande de la Direction générale de la recherche et de l'innovation de la Commission européenne, et ses résultats ont été publiés en 2018 (CE, 2018, *ibid*). Les résultats présentés ici sont seulement ceux obtenus pour les impacts du programme sur le PIB européen, à défaut d'avoir pu disposer des résultats de QUEST III et de RHOMOLO au niveau national. Les résultats de RHOMOLO au niveau sectoriel ne sont pas non plus disponibles. Enfin, seul le modèle NEMESIS a été en mesure de fournir des résultats pour l'emploi que nous ne présentons pas ici. Le lecteur intéressé par des résultats détaillés du modèle NEMESIS pour l'emploi et l'activité aux niveaux sectoriel, national et européen peut se référer à Boitier et al. (2018, *ibid*).

Le programme Horizon Europe et sa mise en Œuvre dans les modèles

Horizon Europe (2021-2027) est le programme cadre pour la R&I de la Commission européenne qui va succéder au programme actuel H2020. La méthodologie commune aux trois modèles pour évaluer Horizon Europe a été de considérer un scénario, que nous avons appelé « continuation », où il est assumé que le programme actuel, H2020, serait prolongé par le programme suivant Horizon Europe, mais en prenant en compte le retrait du Royaume-Uni. De cette façon, le budget total qui a été considéré, de 70 milliards en euros constants de 2014 est similaire en ampleur à celui de H2020 puisque la perte de budget liée au retrait du Royaume-Uni (environ 15 % du total) est intégralement compensée par l'augmentation du budget qui était envisagée sous l'effet de la croissance économique au moment de réaliser l'étude (2 % par an en moyenne sur la période 2021-2027). Pour apprécier les impacts du programme, les résultats de ce scénario de « continuation » ont alors été comparés à ceux

d'un scénario alternatif de « discontinuation » dans lequel, par hypothèse, les programmes cadres de recherche de la Commission européenne seraient stoppés après la fin de H2020.

Au niveau de la mise en œuvre du programme dans les modèles, le premier aspect méthodologique qui a émergé est celui du financement du programme. Bien qu'il fût « tentant » de considérer que le financement « provient de nulle part », pour isoler les effets directs du programme sans autres considérations, il a été préféré de considérer qu'il provenait de différentes sources, en fonction des hypothèses préférées par les équipes en charge des différents modèles. Pour QUEST III, il a été retenu deux financements alternatifs du programme, une taxe additionnelle sur la valeur ajoutée des entreprises ou une réduction des investissements publics. Pour NEMESIS, le financement retenu a été également une réduction des investissements publics, mais en excluant, à la différence de QUEST III, les investissements dans la recherche dans les différents pays. Pour RHOMOLO le financement utilisé est venu également d'une coupe dans les investissements publics mais en incluant les investissements dans la recherche. Le deuxième aspect méthodologique a été la transcription temporelle du programme dans les modèles, qui doit prendre en compte la durée moyenne des projets de recherche qui sont financés, 33 mois en moyenne pour la première partie du programme H2020 (entre 2014 et 2016), ce qui est proche également de l'expérience du programme précédent (le FP7). Il a été également calculé qu'en moyenne 55 % des financements accordés sont dépensés la première année, 35 % la seconde et 10 % la troisième. Avec ces hypothèses, les investissements dans la recherche provoqués par le programme Horizon Europe devraient continuer jusqu'en 2029, soit deux ans après la fin officielle du programme. Le troisième aspect méthodologique, qui n'a concerné que le modèle NEMESIS, est la répartition entre les fonds allant à la « recherche de base », et ceux qui vont à la « recherche appliquée ». Les deux types de recherche agissent en effet de façon différenciée dans le modèle puisque la recherche appliquée, en plus d'augmenter les connaissances comme la « recherche de base », permet également aux entreprises de les transformer en innovations exploitables commercialement. Une fois encore cette répartition s'est appuyée sur l'expérience des programmes passés. Le quatrième aspect méthodologique ressort, pour tous les modèles, à la répartition géographique des financements, qui s'est également appuyée sur l'expérience des programmes FP7 et H2020. Finalement dans NEMESIS, il a été retenu que l'allocation sectorielle des subventions entre les secteurs dans un pays est proportionnelle à la part de chaque secteur dans les investissements totaux en R&D des entreprises dans ce pays, et il a été fait de même pour la répartition des fonds entre les régions dans le modèle RHOMOLO.

L'adaptation des mécanismes d'innovation des modèles aux spécificités des programmes de R&I européens

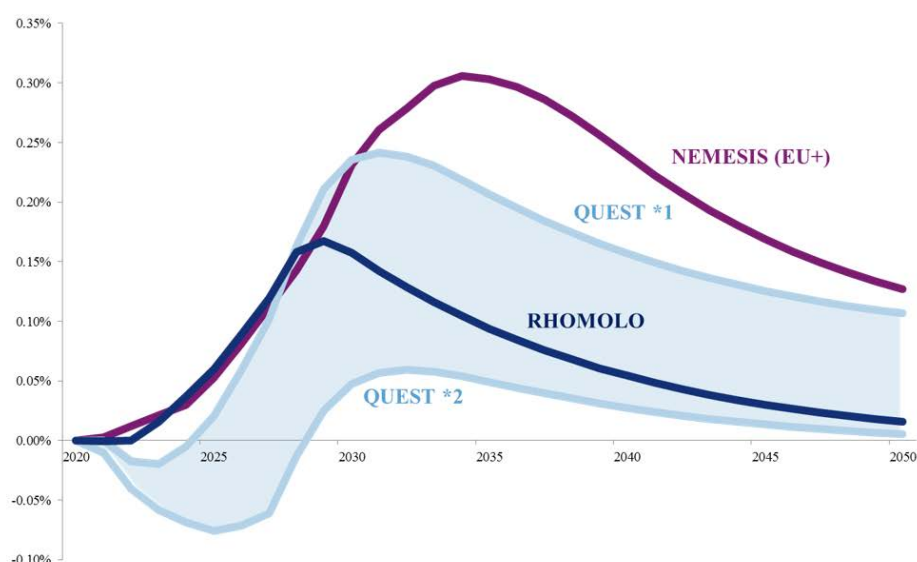
Les modèles ont également dû être adaptés aux spécificités des programmes cadre européens, comparés à d'autres types de soutiens aux activités de R&I, comme les subventions mises en place au niveau national par les États membres. Deux points particulièrement importants pour les résultats de l'évaluation ont été examinés. Le premier est la valeur de l'effet de levier des programmes européens sur les investissements dans la recherche des bénéficiaires. Le second est l'estimation de la « valeur ajoutée européenne », c'est-à-dire de la « qualité » de la recherche financée par un programme européen, par rapport à la recherche qui est réalisée à partir de sources de financement nationales. Sur ces deux points il existe de nombreuses études (voir par exemple l'analyse approfondie qui en est faite dans PPMI (2017, *ibid*) conduisant à conclure à une « valeur ajoutée européenne » d'environ 15 % (la recherche « européenne » est 15 % plus productive) et à un effet de levier des subventions européennes sur les investissements en recherche des bénéficiaires de 1,15 pour la recherche appliquée, contre seulement 1,1 pour les subventions nationales : chaque euro alloué provoque un investissement de 1,15 pour une subvention européenne et de 1,1 euro pour une subvention nationale. Pour la recherche de base, l'effet de levier est estimé à 1 qu'il s'agisse d'une subvention européenne ou d'une subvention nationale. Conformément à ces résultats empiriques, dans NEMESIS les paramètres du modèle ont été adaptés pour obtenir un effet de levier moyen de 1,1 pour les programmes européens (en pondérant les leviers pour la recherche appliquée et pour la recherche fondamentale) et une valeur ajoutée européenne de ces programmes de 15 %. Dans RHOMOLO, l'effet de levier a également été fixé à 1,1, mais l'hypothèse que la recherche financée au niveau européen est plus performante que celle financée au niveau national n'a pas été retenue. Enfin QUEST III a retenu les hypothèses d'un effet de levier de 1 et de l'absence de « valeur ajoutée européenne » pour le financement de la recherche.

L'impact d'Horizon Europe sur le PIB européen mesuré par les trois modèles

La Figure 3 qui présente les impacts du programme Horizon Europe sur l'évolution du PIB européen entre 2020 et 2050 montre - en laissant pour l'instant de côté le scénario « QUEST*2 – que les résultats calculés par les trois modèles ont des profils temporels similaires mais avec des impacts mesurés sur le PIB d'ampleur différente. On observe très peu de différences entre NEMESIS et RHOMOLO durant la durée du programme (2020-2027). C'est la première phase d'« investissement » où les effets constatés sur le PIB résultent principalement des effets de relance keynésienne des achats de matériel

et de l'embauche de personnel induits par les investissements dans la recherche provoqués par le programme. Pour QUEST III, les impacts négatifs du programme sur la PIB les premières années sont à rattacher à la forte rigidité de l'offre de travail qualifiée et au jeu de la règle de Taylor qui provoque une hausse des taux d'intérêts pour contenir les tensions inflationnistes provoquées par les investissements dans la recherche. Dans QUEST III ce n'est ainsi qu'en 2025, c'est-à-dire une fois que les investissements dans la recherche provoqués par les premières tranches du programme commencent à stimuler la compétitivité des entreprises et à réduire les coûts, que les impacts sur le PIB deviennent positifs. En 2027, la dernière année du programme, l'écart de PIB mesuré par les trois modèles est très proche, de l'ordre de 0,12-0,13%, mais l'intégrale des effets entre 2020 et 2027 mesurée avec QUEST III reste très inférieure à celle des deux autres modèles.

Figure 3 : Les impacts d'Horizon Europe sur le PIB européen vus par les trois modèles



*Source : Ravet et al. (2019). Note : Le programme est financé dans QUEST*1 par une augmentation de la TVA et dans QUEST*2 par une réduction des investissements publics.*

Après 2027, même si le programme continue à provoquer des investissements dans la recherche en 2028 (4,2 milliards) et en 2029 (1,4 milliards), les impacts mesurés sur le PIB sont principalement dus à l'arrivée des innovations provoquées par les investissements dans la recherche, qui réduisent les coûts et accroissent la demande. C'est la « phase d'innovation » dont la durée va dépendre de la force des externalités de connaissances à l'œuvre dans chaque modèle. Dans RHOMOLO, où ces externalités sont très limitées en l'absence notamment d'externalités internationales, après un maximum de + 0,17 % en 2029, l'écart de PIB commence ainsi à diminuer dès 2030, c'est-à-dire dès la fin des

investissements dans la recherche que le programme aura provoqués. Dans QUEST III les effets maximums sur le PIB sont atteints en 2031, avec + 0,24 %, avant de commencer à décroître. A cette date, l'écart de PIB obtenu avec NEMESIS est comparable à celui mesuré par le modèle QUEST III, mais dans NEMESIS il continue à croître jusqu'en 2034, avec environ + 0,32 %. C'est en effet dans le modèle NEMESIS que les externalités de connaissance ont le plus de force puisqu'en plus des externalités de R&D présentes dans QUEST III, il faut ajouter les externalités associées aux investissements dans les actifs complémentaires à la R&D (les ICT, les logiciels et la formation professionnelle), que va provoquer le programme à moyen-long terme. Après le pic sur l'écart de PIB dans chacun des modèles, c'est le début de la dernière phase d'« obsolescence » durant laquelle les connaissances scientifiques et technologiques nouvelles provoquées par le programme se déprécient progressivement, ramenant à terme l'écart de PIB vers 0. Dans RHOMOLO l'écart de PIB devient ainsi presque nul en 2050, après 30 ans de simulation. A cette date les effets du programme sur le PIB européen ont presque intégralement disparu dans RHOMOLO, tandis qu'ils sont encore très substantiels, et à des niveaux proches, dans QUEST III et NEMESIS, avec respectivement (environ) + 0,11 % et + 0,13 %. QUEST III et NEMESIS fournissent ainsi des résultats similaires à long terme mais obtenus, comme nous l'avons vu, à partir d'une représentation très différente des mécanismes d'innovation dans les deux modèles.

3.5. La méthodologie de l'évaluation macroéconomique du renforcement du CIR avec le modèle NEMESIS

Cette présentation succincte de l'évaluation *ex-ante*, avec les modèles QUEST III, RHOMOLO et NEMESIS, des impacts sur le PIB européen du prochain programme cadre pour la R&I de la Commission européenne, a permis de soulever des aspects méthodologiques essentiels pour l'évaluation macroéconomique de politiques de R&I. Nous en tirons ici quelques conclusions, organisées en cinq points, sur la façon d'évaluer les politiques de R&I avec les modèles de simulation macroéconomique, et sur les choix méthodologiques qui ont été finalement retenus dans cette étude sur l'évaluation des impacts économiques du renforcement du CIR avec NEMESIS.

Le premier point est que le travail d'évaluation avec les modèles n'est possible qu'à condition de disposer de suffisamment de données sur les dispositifs à évaluer. Ce point peut sembler trivial, pourtant les données nécessaires ne sont pas disponibles immédiatement, et une fois qu'elles le sont ce n'est pas toujours avec un degré de détail suffisant pour satisfaire à toutes les exigences des modèles. Dans le cas du CIR, au moment de réaliser l'étude, les données utilisées avec le modèle NEMESIS, que nous présentons dans la section 4, n'étaient disponibles que pour la période allant de 2007 à 2016. L'évaluation des impacts économiques du renforcement du dispositif après 2007 n'a ainsi été possible que sur la base des données pour les crédits d'impôts qui ont été accordés jusqu'en 2016.

Le deuxième point est que deux types de scénarios sont nécessaires pour être en mesure de bien apprécier les effets des politiques de R&I avec les modèles. Tout d'abord, des scénarios de type « *one shot* », où l'on suppose l'arrêt des programmes à une date donnée, comme pour l'évaluation *ex-ante* du programme européen Horizon Europe avec les modèles QUEST III, NEMESIS et RHOMOLO, que nous venons de présenter. Ensuite des scénarios dits « *forever* », dans lesquels le ou les dispositifs analysés sont supposés se poursuivre « pour toujours », comme par exemple pour l'évaluation *ex-ante* du programme européen actuel H2020 (CE, 2012 – annexe 5, *ibid*). Dans le cas du CIR, les scénarios étudiés avec NEMESIS, présentés dans la section 5, incluent ainsi deux types de scénarios : dans les scénarios de type « *one shot* » on stoppe le CIR en 2016, et dans les scénarios « *forever* », on le poursuit « pour toujours », comme c'est bien le cas jusqu'à aujourd'hui. Nous verrons à l'issue des sections 6 et 7, dans lesquelles nous présentons les résultats de l'évaluation du CIR avec NEMESIS, que les deux types de scénarios fournissent des évaluations différentes et complémentaires des impacts des politiques de R&I, mais seuls les scénarios de type « *forever* » permettent de mesurer correctement leurs effets à long terme, puisque, comme nous l'avons vu, les effets des politiques de R&I mettent beaucoup de temps à se déployer.

Le troisième point est l'adaptation des mécanismes et/ou des paramètres clé des modèles aux politiques qui sont analysées. Dans le cas d'Horizon Europe, il a été fait le choix dans QUEST III de ne pas recalibrer le modèle pour tenir compte de l'effet de levier du dispositif sur les investissements dans la recherche des bénéficiaires, qu'il est possible de retirer de l'expérience des programmes de recherche passés, ou des études économétriques. Il n'a pas été tenu compte non plus dans QUEST III, comme dans RHOMOLO, de l'effet de « valeur ajoutée européenne » d'Horizon Europe qui est mesurée à 15 % d'après les données issues des programmes FP7 et H2020. Les effets plus importants du programme sur le PIB européens mesurés avec le modèle NEMESIS par rapport à QUEST III, viennent ainsi du fait qu'avec NEMESIS nous avons retenu un effet de levier de 1,1 et une « valeur ajoutée européenne » de 15 % pour Horizon Europe, contre respectivement 1 et 0 % pour QUEST III. Dans le cas du CIR, l'évaluation avec le modèle NEMESIS s'est appuyée également sur l'expérience passée et notamment sur les valeurs de l'effet de levier du dispositif sur les investissements en R&D de la recherche issues des études économétriques qui ont été commandées par la CNEPI et le MESRI.

Le quatrième point concerne le financement des mesures. Pour Horizon Europe il a été retenu le choix que le financement ne venait pas de « nulle part » et les équipes en charge des différents modèles ont chacune retenu le mode de financement qu'elles préféraient. Le choix de mode de financement n'est pourtant pas neutre pour les résultats de l'évaluation. On peut le voir par exemple avec les résultats du scénario QUEST*2 sur la Figure 3 dans lequel dans QUEST III le programme Horizon Europe est financé par une réduction d'ensemble des investissements publics. Nous voyons que dans ce cas les

impacts du programme sur le PIB européen est négatif jusqu'en 2029, et que l'intégrale des effets entre 2020 et 2050 est à peine positive. La raison de ce résultat est que QUEST III retient l'hypothèse que les investissements publics, qui sont principalement des investissements dans les infrastructures, auraient ainsi des effets supérieurs sur le PIB, au moins à court et moyen terme, que les investissements dans la recherche. Le choix de financement retenu n'est ainsi absolument pas neutre sur les résultats des modèles et si l'on veut une obtenir une évaluation des politiques de R&I « en soi », c'est-à-dire sans autres considérations, il est ainsi nécessaire de simuler au moins un scénario de référence dans lequel le financement « vient de nulle part ». Cela est particulièrement justifié dans le cas des politiques de R&I, puisque celles-ci ont généralement un effet très positif sur les finances publiques à moyen-long terme. Pour cet ensemble de raisons, avec NEMESIS, il a été supposé dans cette étude sur les effets économiques du CIR que le financement du dispositif « vient de nulle part ». Une section a cependant été ajoutée au rapport pour illustrer comment il est possible d'analyser le coût d'opportunité du renforcement du dispositif CIR par rapport à la mise en place d'une politique alternative, ici une diminution du taux de l'impôt sur les sociétés pour un montant équivalent au coût du renforcement du CIR à partir de 2008 et après.

Le cinquième point concerne les mécanismes généraux des modèles et l'analyse de sensibilité. Le modèle NEMESIS est certainement le modèle qui décrit le mieux les phénomènes d'innovation, et c'est pour cette raison que c'est encore aujourd'hui le modèle le plus utilisé par la Commission européenne pour l'évaluation de ses politiques de R&I. Cela étant, la facture néo-keynésienne du modèle, et en particulier ses mécanismes de formation des prix et des salaires, ne sont pas sans conséquences sur l'évaluation avec le modèle des effets des politiques de R&I sur l'activité et sur l'emploi. Par conséquent, dans cette étude sur le CIR, nous avons réalisé une analyse de sensibilité des résultats à deux mécanismes centraux du modèle pour l'évaluation des politiques de R&I : l'« effet Phillips » et le comportement de marge à l'exportation des entreprises françaises.

4. L'évolution des montants alloués au titre du CIR depuis son renforcement en 2008 et leur allocation

Le Tableau 3 retrace les montants alloués par l'État au titre du CIR entre 2007 et 2016. Nous voyons que le renforcement du dispositif en 2008²⁸, s'est traduit par une augmentation des montants alloués

²⁸ Le principal changement dans le dispositif intervenu en 2008, concerne la suppression de la part du dispositif calculé sur la base de 40% de l'« accroissement » des dépenses de R&D des entreprises, et le dé plafonnement du CIR auparavant fixé à 16 millions d'euros. À partir de 2008 c'est uniquement la « masse » des dépenses qui est prise en compte dans le calcul, avec : 30 % des dépenses de R&D des entreprises pour une première

aux entreprises privées au titre du CIR, de 1,8 milliard en 2007 à 4,45 milliards d'euros courants en 2008, puis cette hausse s'est poursuivie à un rythme moindre.

Si l'on examine maintenant les évolutions mesurées en points de PIB de façon à gommer les effets de l'inflation sur les chiffres, le renforcement du CIR en 2008 a représenté une augmentation de 0,13 point de PIB en 2008 comparé à 2007, progressant à 0,16 point de PIB en 2009, 0,18 en 2010, 0,17 en 2011, puis 0,18 à partir de 2012 jusqu'en 2016. Les autres types d'aides à la recherche (les subventions directes principalement) représentaient 0,12 point de PIB en 2007. Après une augmentation à 0,21 point de PIB en 2008, elles ont représenté entre 0,18 et 0,15 point de PIB entre 2010 et 2016, soit une relative stabilité. Le CIR est ainsi devenu après 2008 le premier dispositif de soutien à la recherche des entreprises en France, où il représentait en 2016 65 % de l'ensemble des aides.

Tableau 3 : Évolution des montants alloués au titre du CIR entre 2006 et 2016

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CIR en millions d'euros courants										
<i>Source : GECIR juillet 2019, MESRI-DGRI-Sittar ; tous dispositifs confondus (recherche, innovation et collection)</i>										
Montant du CIR (Crédit d'impôt)	1802	4452	4880	5402	5381	5699	5763	5883	6082	6155
Taux de subvention à la recherche dont CIR en points de PIB										
<i>Source : OECD R&D Tax Incentive Database, http://oe.cd/rdtax, EUROSTAT (PIB) et GECIR</i>										
Taux de subvention à la R&D privée en points de PIB (OCDE) dont :	0,21	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,43
- CIR en points de PIB	0,09	0,22	0,25	0,27	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28
- Subventions directes à la recherche*	0,12	0,21	0,18	0,16	0,18	0,17	0,18	0,18	0,17	0,15
Renforcement du CIR après 2007 en millions d'euros courants et en points de PIB										
<i>Calcul: (CIR en points de PIB (OCDE) - CIR en points de PIB en 2017) X PIB en euros courants</i>										
Renforcement CIR (estimation)	-	2537	3019	3484	3398	3670	3714	3811	3989	4011
Renforcement CIR (en points de PIB)	-	0,13	0,16	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18

Sources : OCDE, base de données sur les incitations fiscales à la R&D (<http://oe.cd/rdtax>) et EUROSTAT (PIB).

* : Inclut les aides fiscales et les déductions de charges pour les jeunes entreprises innovantes (JEI) et les jeunes entreprises universitaires (JEU).

tranche jusqu'à 100 millions d'euros ; 5 % des dépenses de R&D au-delà de ce seuil de 100 millions d'euros ; pour les entreprises qui demandent à en bénéficier pour la première fois, le taux est de 50 % l'année d'entrée dans le dispositif et de 40 % la deuxième année. Ces taux majorés ont été réduits en 2011 puis supprimés en 2013.

Il faut préciser que le CIR inclut, outre les dépenses afférentes à la recherche, celles relatives à l'« innovation²⁹ » (CII) et aux « collections³⁰ » (CIR TXC). Pour illustrer les ordres de grandeur des créances relatives aux différents types de dépenses, le Tableau 3 indique pour l'année 2016, qui est la dernière année connue, que les créances fiscales au titre de la recherche ont représenté 96,3 % du total, et celles au titre de l'innovation et aux collections, respectivement 2,9 % et 0,8 %.

Au niveau de la distribution sectorielle du CIR, celle-ci est relativement stable et très corrélée à l'effort relatif de recherche des différents secteurs productifs, comme l'illustre le Tableau 5 pour l'année 2016.

C'est toutefois le cas pour la distribution sectorielle de la créance recherche qui représente 96,3 % du total des créances, avec 59,6 % du total pour l'industrie manufacturière, 38,1 % pour les services et 2,3 % pour les autres secteurs. La créance collection (Textile-Habillement-Cuit - THC) est pour sa part concentrée sur le secteur du textile, et la créance innovation sur les secteurs de services (72,5 %) avec notamment le secteur du Conseil et de l'assistance informatique, qui représente 40,8 % du total.

Tableau 4 : Entreprises déclarantes et bénéficiaires³¹ du CIR, dépenses et créances afférentes, selon le type de dépenses déclarées pour 2016

Type de dépenses déclarées	Nombre de déclarants	Dépenses déclarées (en M€)	% des dépenses	Nombre de bénéficiaires	Créance (en M€)	% de créance
Recherche	17 986	21 840	94,9	15 392	6 103	96,3
Innovation	6 670	921	4,0	6 480	185	2,9
Collection	1 099	265	1,2	1 069	52	0,8
Ensemble	25 335 ^(a)	23 026	100	19 939 ^(a)	6 340	100

Source : GECIR juillet 2019 (données semi-définitives), MESRI-DGRI-Sittar.

(a) hors doubles comptes pour le nombre de déclarants et de bénéficiaires : le total est obtenu par la somme des lignes "Recherche", "Innovation uniquement", "Collection uniquement", à laquelle sont ajoutés le nombre d'entreprises ne déclarant que des dépenses d'innovation et de collection et le nombre d'entreprises qui ne déclarent pas de dépenses.

²⁹ Le crédit d'impôt innovation (CII) concerne, dans le cas des PME, certaines dépenses d'innovation au-delà de la R&D, essentiellement celles liées à la conception de prototypes de nouveaux produits ou à des installations pilotes pour de nouveaux produits.

³⁰ Le crédit d'impôt nouvelles collections, réservé au secteur du textile-habillement-cuir (CIR TXC), porte sur les frais d'élaboration de nouvelles collections.

³¹ Le nombre de déclarants est supérieur au nombre de bénéficiaires en raison principalement des refus d'attribution du crédit d'impôt.

Tableau 5 : Distribution des créances de recherche, de collection et d'innovation par secteur, 2016

Secteur d'activité (APE) de l'activité de recherche	Part des dépenses recherche %	Part de la créance recherche %	Part de la créance collection (THC) %	Part de la créance R&D+THC %	Part de la créance innovation %
INDUSTRIES MANUFACTURIERES	62,3	59,6	91,7	59,8	26,5
Industrie électrique et électronique	14,2	14,4	nd	14,3	6,5
Pharmacie, parfumerie et entretien	12,8	11,1	-	11,0	0,6
Industrie automobile	9,3	7,3	-	7,3	0,9
Construction navale, aéronautique et ferroviaire	6,3	5,8	nd	5,7	0,5
Chimie, caoutchouc, plastiques	5,1	5,4	0,5	5,4	2,4
Industrie mécanique	3,9	4,2	0,8	4,1	7,9
Métallurgie et transformation des métaux	2,8	3,1	nd	3,0	2,8
Hydrocarbures, production d'énergie	2,5	2,3	-	2,3	0,2
Textile, habillement, cuir	0,4	0,5	89,9	1,2	0,9
Autres industries manufacturières	5,1	5,5	-	5,5	3,7
SERVICES	35,6	38,1	8,3	37,9	72,5
Conseil et assistance en informatique	12,0	12,9	-	12,8	40,8
Services d'architecture et d'ingénierie	7,2	7,7	0,4	7,7	9,8
Recherche et développement	4,6	5,0	nd	4,9	1,0
Commerce	3,6	3,8	6,02	3,8	6,8
Services bancaires et assurances	1,6	1,7	nd	1,7	0,7
Conseil et assistance aux entreprises	1,5	1,6	0,1	1,6	4,9
Services de télécommunications	1,5	1,6	-	1,6	0,9
Autres services	3,6	3,9	1,7	3,9	7,6
AUTRES SECTEURS	2,2	2,3	-	2,3	1,0
Agriculture, sylviculture, pêche	1,5	1,6	-	1,6	0,1
Batiment, travaux publics	0,7	0,7	-	0,7	0,9

Source : GECIR juillet 2019 (données semi-définitives), MESRI-DGRI-SITTAR.

5. Les scénarios simulés avec le modèle NEMESIS pour évaluer les impacts économiques du CIR

Les scénarios simulés avec le modèle NEMESIS ont pour objectif d'évaluer les impacts économiques du renforcement du dispositif du CIR après 2007. Ils ne prennent ainsi en compte, nous le rappelons, que les montants de crédits d'impôts « additionnels », provoqués par le renforcement du dispositif en 2008.

Pour cela, les études économétriques commandées par la CNEPI et le MSERI dont les résultats figurent dans le tableau 7 page 26 de son rapport de mars 2019, permet d'apprécier la mesure dans laquelle la réforme du CIR de 2008 a eu pour effet d'accroître l'effort de R&D des entreprises qui en faisaient déjà³². Ces études visent ainsi à évaluer l'effet de levier du dispositif sur les dépenses de R&D des entreprises, c'est-à-dire l'effet d'un euro additionnel d'argent public alloué sur les dépenses de R&D

³² Ces études, en se limitant aux seules entreprises qui étaient déjà entrées dans le dispositif avant son renforcement en 2008 ne fournissent ainsi pour l'instant qu'un impact partiel du CIR.

des bénéficiaires. À court terme, l'étude de Bozio *et al.* (2017) sur la période 2004-2011 trouve un effet de levier du dispositif compris entre 1,1 et 1,5 : chaque euro dépensé au titre du CIR a entraîné un investissement dans la R&D des entreprises bénéficiaires compris entre 1,1 et 1,5 euro. L'étude de Mulkay et Mairesse (2018)³³ sur la période 1994-2013 trouve pour sa part un effet de levier supérieur à 1. À long terme, l'étude de Lopez et Mairesse (2018) sur la période 2002-2012 trouve un effet de levier de 1,2, et celle de Mulkay et Mairesse (2018) sur la période 1994-2013, un effet de levier proche de 0,9.

Les études soulignent dans leur ensemble que le dispositif, en tant que système incitatif à l'investissement dans la R&D par les entreprises a bien fonctionné, chaque euro dépensé dans le dispositif s'étant traduit par une augmentation de l'investissement en R&D de la part des bénéficiaires à peu près équivalente, ou supérieure à court terme, et comprise à long terme entre 0,9 et 1,2 euro.

Toutefois avec NEMESIS, nous avons considéré que chaque euro d'argent public investi dans le dispositif sur la période 2008-2016 a conduit à un effort de recherche des entreprises bénéficiaires compris entre 0,8 et 1,2 euro. La borne basse de l'intervalle qui a été retenue (0,8) est un peu inférieure à la borne basse des études économétriques (0,9), afin de centrer notre analyse sur le cas où chaque euro distribué au titre du CIR augmente d'exactly un euro l'effort d'investissement en R&D des entreprises bénéficiaires. C'est une hypothèse de travail pratique mais présentant le défaut de minorer d'environ 5 % l'effet de levier moyen qui est utilisé dans cette étude par rapport à celui ressortant des études économétriques présentés plus haut : 1,05³⁴.

Nous avons ensuite considéré deux catégories de scénarios.

Dans la **première catégorie de scénarios** que nous appellerons « **CIR 2008-2016** », nous nous intéressons aux impacts économiques des crédits d'impôts qui ont été distribués entre 2008, soit l'année du renforcement du CIR, et 2016, la dernière année connue. Après 2016, on considère que le dispositif est interrompu. Le modèle est simulé sur une période de 23 ans, entre 2008 et 2030, soit 14 ans après l'arrêt supposé du CIR, afin d'être en mesure d'apprécier les impacts économiques à court,

³³ Cette étude a été commanditée par le MESRI et non par la CNEPI.

³⁴ Inversement, les études ayant cherché à évaluer l'effet de levier du CIR sur l'investissement en R&D des entreprises sont concentrées sur l'impact du CIR sur les petites et moyenne entreprises. Les nouvelles études en cours, prenant en compte également les grandes entreprises, pourrait conduire à revoir à la baisse de façon importante l'effet de levier du CIR mesuré par ces études passées, ainsi que les retombées économiques positives du dispositif sur le territoire national qui sont mesurés dans cette étude, en raison d'un effet de levier peut-être plus faible que supposé, mais également de la stratégie mondialisée des grandes entreprises pouvant conduire à ce qu'une part non négligeable des retombées économiques positives à attendre du dispositif, se produisent en réalité en dehors du territoire économique national.

moyen et long terme des investissements en R&D qu'il a provoqués sur la période allant de 2008 à 2016.

Il existe en effet des délais importants entre le temps des investissements en R&D, l'apparition des premiers résultats en termes d'innovations, et la diffusion des innovations sur le marché qui va modifier la compétitivité et la croissance économique, ce qui nécessite de considérer une période de temps suffisamment longue pour évaluer les impacts du dispositif. Si l'on suppose, comme c'est le cas dans NEMESIS, que les investissements en R&D et les innovations qu'ils provoquent ont un taux d'obsolescence de 15 % par an, dans cette première catégorie de scénarios les derniers investissements en R&D provoqués par le dispositif en 2016 auront été déclassés à plus de 90 % en 2030, et les premiers, ceux de 2008, à plus de 97%. À cet horizon de 2030 il est ainsi possible de prendre en compte la quasi-totalité des impacts économiques provoqués par les créances de CIR accordées entre 2008 et 2016.

Dans la **seconde catégorie de scénarios** appelée « **CIR forever** », il est cette fois fait l'hypothèse que le dispositif du CIR sera maintenu pour toujours. Dans le modèle NEMESIS, on suppose alors que le renforcement du CIR est maintenu après 2016 et jusqu'en 2038 à 0,18 point de PIB, le montant moyen observé au cours des six dernières années. L'horizon est prolongé jusqu'en 2038 (t + 30) afin d'être en mesure de mieux apprécier l'impact du dispositif sur le taux de croissance de long terme de l'économie française.

L'ensemble des scénarios qui ont été étudiés, au nombre de 12, est résumé dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Les scénarios étudiés avec le modèle NEMESIS

	<i>Levier :</i>		
	<i>0,8</i>	<i>1</i>	<i>1,2</i>
Impact des CIR 2008-2016	CIR08	CIR1	CIR12
Impact du CIR "forever"	CIR08FE	CIR1FE	CIR12FE
	<i>Sensibilité à :</i>		
	<i>Effet Phillips</i>	<i>Marges à l'export</i>	<i>Phillips + Marges</i>
Impact des CIR 2008-2016	CIR1P	CIR1X	CIR1PX
Impact du CIR "forever"	CIR1FEP	CIR1FEX	CIR1FEPX

Nous voyons dans le Tableau 6 que trois effets de levier différents du dispositif ont finalement été considérés : 0,8, 1 et 1,2 correspondant aux bornes hautes et basses que nous avons retenues, et au

cas central d'un effet de levier égal à 1: chaque euro de CIR conduit par hypothèse à un euro d'investissement dans la R&D de la part des bénéficiaires.

Pour le cas central d'un levier égal à 1, nous avons par ailleurs réalisé une analyse de sensibilité à deux mécanismes du modèle pouvant influencer de façon importante les impacts économiques.

Le premier est l'importance de l'« effet » Phillips, et le second, le comportement de marge des entreprises à l'export :

- L'effet Phillips est fixé dans le modèle à 0,35 pour le travail peu qualifié et à 1,1 pour le travail qualifié, une réduction de 1 point du niveau du taux de chômage conduisant respectivement à une hausse de + 0,35 % et de + 1,1 % du taux de salaire réel. Pour l'analyse de sensibilité celui-ci est fixé à zéro pour chaque catégorie de travail³⁵ (scénarios CIR1P et CIR1FEP).
- Pour le comportement de marge à l'export, dans le fonctionnement normal du modèle les entreprises ne répercutent que 60 % des baisses de coût de leurs produits dans leur prix à l'exportation. De façon similaire, les améliorations de qualité de leurs produits ne sont répercutées que pour 40 % dans les prix d'exportation ajustés par la qualité. 60 % des gains de productivité (qu'il s'agisse de baisses de coûts ou d'amélioration de la qualité) sont ainsi utilisés pour améliorer les marges. Pour l'analyse de sensibilité, les gains de productivité (baisses de coût ou montée en gamme des produits) sont cette fois intégralement répercutés en baisses de prix des exportations (scénarios CIR1X et CIR1FEX).
- Deux dernières simulations (CIR1PX et CIR1FEPX) combinent à la fois la suppression de l'effet Phillips et celle du comportement de marge).

Enfin, pour tous les scénarios les créances de CIR sont allouées dans les différents secteurs de production en proportion de la part de chaque secteur dans les dépenses totales de R&D des entreprises, ce qui correspond comme nous l'avons souligné plus haut, à l'allocation observée sur les données du GECIR.

³⁵ Il s'agit encore une fois d'une hypothèse de travail pratique, mais il existe plusieurs éléments qui pourraient laisser supposer que l'effet Phillips est surestimé dans le modèle, comme l'hypothèse d'immobilité du travail au niveau international, sans doute excessive si l'on songe par exemple aux carrières internationales de nombreux chercheurs et ingénieurs de production.

6. Les impacts économiques des créances accordées au titre du CIR entre 2008 et 2016 (Scénarios « CIR 2008-2016 »)

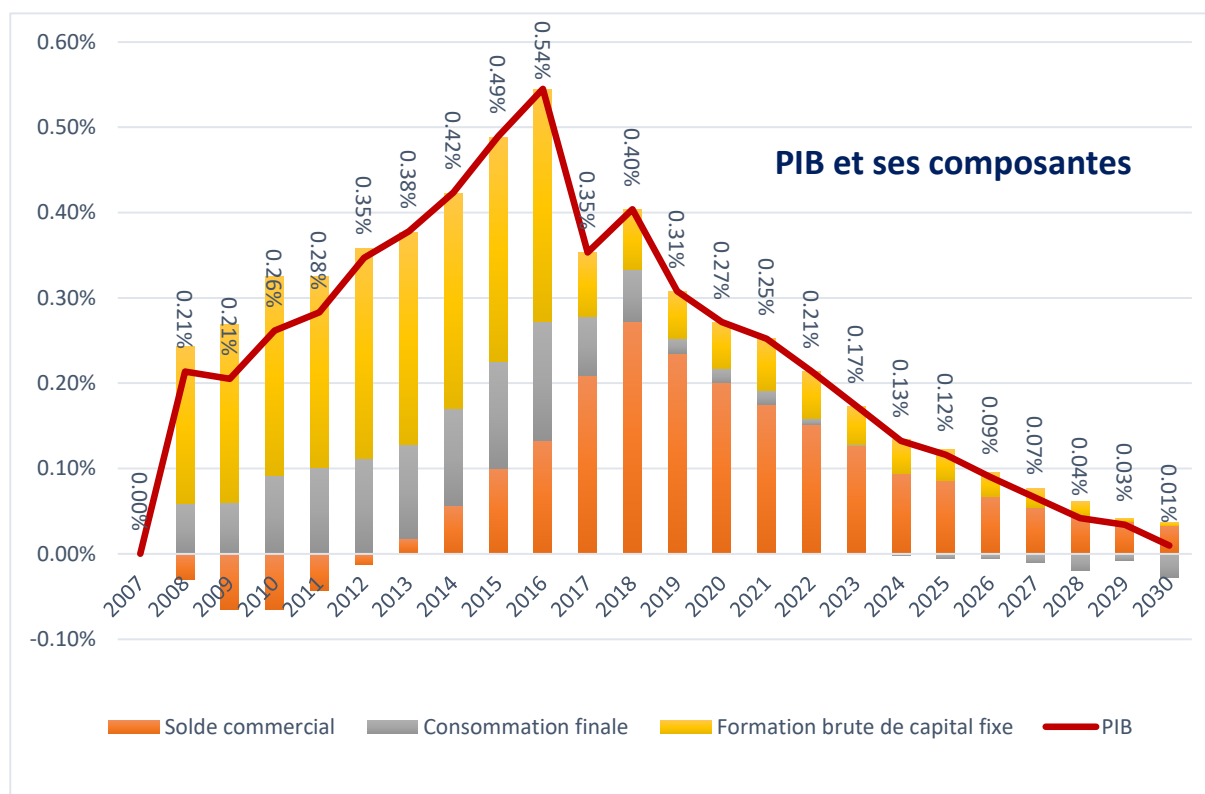
Nous commençons dans cette section par présenter les impacts économiques mesurés avec le modèle NEMESIS des créances de CIR accordées aux titres des années fiscales comprises entre 2008 et 2016. Parmi les six scénarios de type « CIR 2008-2016 » étudiés (Cf. supra Tableau 6), nous centrons la présentation sur les résultats du scénario CIR1, correspondant à un effet de levier de 1 du CIR sur les investissements en R&D des entreprises, et dans lequel les effet Phillips et le comportement de marge des exportateurs sont ceux du fonctionnement habituel du modèle. La présentation dans cette section est également centrée sur les résultats au niveau macroéconomique, et les résultats sectoriels seront présentés dans la section suivante consacrée aux scénarios dans lequel le CIR est maintenu après 2016.

6.1. Les impacts pour le PIB et l'emploi au niveau macroéconomique dans le cas du scénario CIR1

Nous rappelons que la méthodologie de l'évaluation avec un modèle macroéconomique appliqué tel que NEMESIS consiste à comparer les résultats d'un scénario dit « variantiel » par rapport à un scénario dit « de référence ». Pour cette étude, nous précisons que le scénario de référence utilisé n'anticipe pas la crise entraînée par la pandémie du COVID-19. Il est conforme jusqu'en 2018 aux données historiques, puis il reflète les anticipations d'activité et de croissance d'avant crise proches des travaux de prospective en cours à France Stratégie avec le modèle NEMESIS, dans le cadre de l'exercice PMQ.

Cela précisé, le point essentiel concernant le scénario de référence, est qu'il inclut nécessairement les effets du CIR, puisqu'il est basé jusqu'en 2018 sur des données historiques. Les variantes ont donc été réalisées en « creux » c'est-à-dire en retranchant dans le modèle les dépenses fiscales au titre du CIR qui ont été accordées entre 2008 et 2016, pour en isoler les effets. Pour faciliter la compréhension des résultats ils sont présentés en changeant les chiffres de signe, comme si les variantes avaient été réalisées « en bosse » et non « en creux », un chiffre positif reflétant un impact effectivement positif, et inversement pour un chiffre négatif, comme si les variantes avaient été réalisées par rapport à un compte sans le CIR.

Figure 4 : Scénario CIR1 – Les résultats pour le PIB et ses composantes, en points de PIB calculés en écart au scénario de référence du modèle NEMESIS



Précisons enfin, que nous n’avons pas considéré le mode de financement du dispositif. Les crédits d’impôt sont alloués par l’État aux entreprises qui les convertissent en investissements en R&D pour un montant identique dans ce scénario avec un levier de 1, ce qui est sans coût pour les entreprises. Pour l’état, comme il n’y a pas de financement par l’impôt ou par une réduction des dépenses publiques, le coût du dispositif se traduit *ex ante* par un accroissement identique du déficit public sans effet sur les taux auxquels l’état emprunte.

Concernant tout d’abord les résultats pour le PIB et ses composantes dans le scénario CIR1, présentés sur la Figure 4, nous voyons que les impacts se développent de façon progressive et contrastée dans le temps (Cf. Encadré 1). Trois phases peuvent être clairement distinguées, même si elles se chevauchent légèrement.

Durant la première « phase d’investissement », entre 2008 et 2010, il n’y a pas encore d’innovation provoquée par les investissements initiaux en R&D, et les impacts macroéconomiques reflètent principalement le jeu du multiplicateur de dépense keynésien.

Encadré 1 : Les mécanismes à l'œuvre dans les scénarios 2008-2016

D'après les mécanismes d'innovation du modèle NEMESIS présentés dans la section 3.3, l'augmentation de la R&D des entreprises va augmenter la croissance par deux effets :

1. La création de nouvelles connaissances qui accroissent la productivité des facteurs d'innovation (ici la R&D), cet « effet connaissance » étant un facteur transitoire ;
2. L'augmentation de la capacité des entreprises à capter les connaissances existantes qui est un effet de long terme appelé « effet d'intensité », car la capacité de captation est liée à l'intensité de l'effort de recherche.

Clairement, cette première famille de scénarios relève du premier effet, l'augmentation de la R&D étant transitoire, s'arrêtant après 2016, et donc n'augmente nullement à terme l'intensité de R&D.

Dès lors les enchainements économiques sont bien connus et se découpent en trois phases :

1. Une « phase d'investissement » en R&D où le modèle fonctionne comme un multiplicateur « keynésien », car l'accroissement d'investissement en R&D est un effet de demande, les innovations n'étant pas encore arrivées : accroissement du PIB et de l'emploi, et pas simplement de l'emploi de recherche ;
2. Une « phase d'innovation » où les innovations de procédé et de produit améliorent la productivité, la compétitivité, la demande et l'emploi ;
3. Une « phase d'obsolescence » qui « efface » les innovations précédentes et tout revient progressivement à son niveau initial.

L'« efficacité » de la phase d'innovation va dépendre de la possibilité de lutter contre les tensions inflationnistes dues à la hausse de la demande de certaines catégories de travail, et à la tentation de certains monopoleurs de ne pas répercuter leur baisse de coût unitaire de production en baisse de prix (ajusté par la qualité).

Pour ces raisons ont été réalisées des études de sensibilité sur ces deux mécanismes.

La première année, en 2008, le PIB progresse de + 0,21 %, soit un peu plus que l'augmentation des crédits accordés aux entreprises avec le renforcement du CIR : + 0,13 point de PIB. Ce multiplicateur initial positif résulte du fait que l'augmentation des investissements en R&D des entreprises est financé intégralement par l'État et est donc à coût nul pour les entreprises. Comme environ 50 % des dépenses de R&D sont des dépenses de personnel, cela se répercute de façon importante dans la consommation finale des ménages qui progresse de + 0,06 point en PIB en 2008. La contrepartie est la légère dégradation du solde commercial, qui s'élève à - 0,03 point de PIB. Cela résulte de l'augmentation de la demande intérieure qui tire les importations, et de la légère tension sur le marché du travail liée à l'augmentation de l'emploi dans la recherche et dans les autres secteurs de l'économie. Mais la

principale contribution à l'augmentation du PIB provient de l'investissement qui augmente + 0,21 point de PIB, soit de + 0,08 point de plus que le surcroît d'investissement en R&D. Outre l'investissement en R&D provoqué par le CIR, les entreprises réalisent également des investissements en équipements divers sous l'effet de l'augmentation de l'activité, qui peuvent être directement complémentaires des investissements en R&D, comme les investissements en TIC et en logiciels. Enfin un léger impact positif a lieu également au niveau de l'investissement logement des ménages, en raison de l'augmentation de leurs revenus.

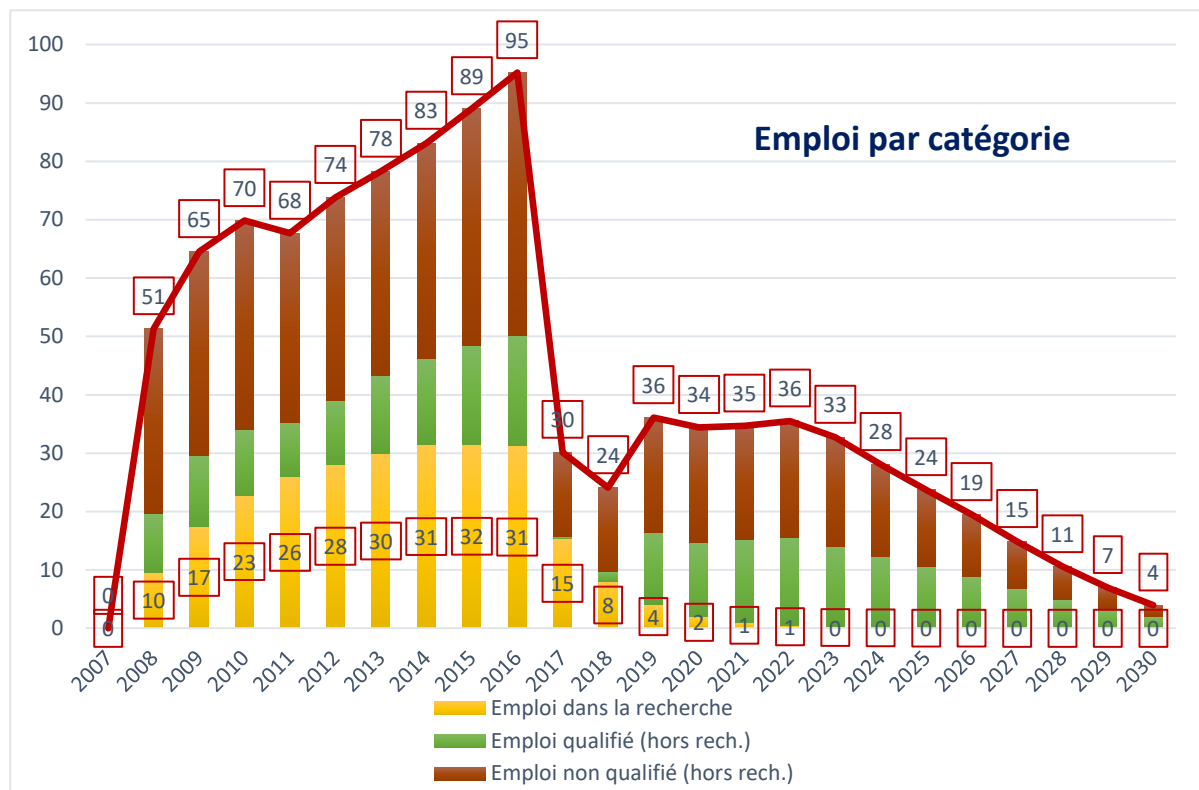
Les deux années suivantes, le renforcement du CIR s'élève cette fois à + 0,16 point de PIB en 2009, puis à + 0,18 point de PIB en 2010, pour atteindre son rythme de croisière. Les mêmes effets sont à l'œuvre et ils s'amplifient même légèrement. En 2010 les gains de PIB atteignent +0,26 point, les gains d'investissement +0,21 point, les gains en consommation finale +0,09 point, tandis que la dégradation du solde commercial atteint -0,07 point de PIB.

Après 2010, les innovations provoquées par les investissements en R&D financés par le CIR commencent à arriver sur le marché ; la « phase d'innovation » commence. Les entreprises gagnent en compétitivité ce qui permet de gommer progressivement les effets négatifs sur le solde extérieur provoqués par les tensions initiales sur le marché du travail (cf. *supra*). Le solde commercial s'améliore progressivement et devient positif à partir de 2013 (+ 0,02 point de PIB) pour atteindre + 0,13 point de PIB en 2016, l'année où le dispositif du CIR est supposé s'arrêter dans la simulation étudiée. En 2016, la contribution du solde extérieur au gain de PIB devient à peu près équivalente à celle de la consommation finale qui est de + 0,14 point de PIB, mais l'investissement, avec + 0,27 point de PIB, reste la première contribution au gain de PIB qui atteint + 0,54 % en 2016.

Vient ensuite après 2016 et l'arrêt supposé du CIR, la « phase d'obsolescence ». Les investissements en R&D provoqués par le CIR tombent à zéro, et les effets multiplicateurs « keynésien » sur l'activité et la consommation des ménages également. La principale contribution positive aux gains de PIB qui subsiste provient des effets positifs sur la compétitivité des entreprises des innovations qui ont été provoquées par le dispositif du CIR au cours des années précédentes. Nous voyons sur la figure que les gains de solde extérieur continuent à progresser jusqu'en 2018 où ils atteignent + 0,21 point. Toutefois après 2016 les connaissances technologiques nouvelles qui ont résulté des investissements en R&D au cours des années 2008-2016 sont toutes entrées en phase d'obsolescence. Les gains de parts de marché à l'exportation et sur le marché national s'amenuisent progressivement, le taux d'obsolescence des connaissances technologique étant de 15 % annuels dans le modèle NEMESIS.

Dès 2030, c'est-à-dire 14 années après l'arrêt du dispositif, les gains de PIB tombent à un niveau proche de zéro, même s'il subsiste un très léger gain en solde extérieur (+ 0,03 point de PIB) mais compensé intégralement par une contribution très légèrement négative de la consommation finale des ménages.

Figure 5 : Scénario CIR1 – Les résultats pour l'emploi, en milliers et en écart au scénario de référence du modèle NEMESIS



En ce qui concerne maintenant les résultats pour l'emploi, on constate également trois phases distinctes, comme le souligne la lecture du graphique 2.

Durant toute la période du CIR, entre 2008 et 2016, l'emploi progresse régulièrement, sous l'influence à la fois des investissements en R&D qui accroissent l'emploi dans le secteur de la recherche, des effets de multiplicateur keynésien de ces investissements, qui accroissent l'emploi dans l'ensemble des autres secteurs de l'économie, et de l'arrivée progressive des innovations qui renforcent la compétitivité de l'économie conduisant également à des créations d'emploi.

Durant cette première période, l'emploi dans la recherche suit progressivement l'augmentation des dépenses de R&D. + 10 000 emplois sont créés dans la recherche en 2008, + 17 000 en 2009, pour culminer ensuite autour de + 30 000 à partir de 2013 jusqu'en 2016. Dans les activités de production (hors recherche), les créations d'emplois sont beaucoup plus nombreuses que dans le secteur de la recherche. En 2008, sur une création d'emplois totale de + 51 000, + 42 000 sont créés dans les activités

de production. Les créations d'emplois peu qualifiés, + 32 000, sont beaucoup plus nombreuses que les créations d'emplois qualifiés hors recherche, avec environ + 9 000. Cela résulte d'un effet d'éviction partiel des créations d'emplois qualifiés dans la recherche, sur les créations d'emplois qualifiés hors du secteur de la recherche, résultant des tensions qui se font ressentir sur le marché du travail qualifié. Par la suite, alors que le gain en emploi dans la recherche se stabilise peu à peu autour de + 30 000, les gains en emplois qualifiés et non qualifiés dans les autres secteurs de l'économie sont davantage équilibrés. En 2016, avant l'arrêt du CIR, l'emploi hors recherche a progressé de + 45 000 pour l'emploi peu qualifié, de + 19 000 pour l'emploi qualifié, et de + 95 000 pour l'emploi total. Nous voyons qu'à cette date le multiplicateur d'emploi du dispositif est très important, avec au total environ trois fois plus d'emplois créés dans l'ensemble de l'économie que dans le seul secteur de la recherche.

La seconde période est limitée aux années 2017 et 2018. Le CIR vient d'être stoppé dans le scénario étudié et l'emploi dans la recherche chute brutalement de + 31 000 en 2016 à + 16 000 en 2017, puis à seulement + 8 000 en 2018. La chute de l'emploi total est encore plus brutale, les créations passant de + 95 000 mille en 2016 à seulement + 30 000 en 2017 et + 24 000 en 2018. Les effets de multiplicateur keynésien des dépenses de recherche sur l'emploi ne jouent plus, alors qu'il subsiste des tensions sur le marché du travail qualifié, même si elles sont amoindries par rapport à la période du CIR. L'effet d'éviction des créations d'emploi dans la recherche sur l'emploi qualifié hors recherche est total, et les créations d'emplois non qualifiés sont réduites à + 15 000. Les constats sont relativement similaires pour l'année 2018.

Durant la troisième période qui débute en 2019, la montée en puissance des innovations permet de compenser les évolutions négatives précédentes pour l'emploi. L'emploi dans la recherche va retomber progressivement à zéro, et les effets keynésiens sur l'emploi des investissements en R&D vont disparaître complètement en raison de l'arrêt du CIR en 2017. Ne subsistent plus que les effets sur l'emploi des gains de productivité et de qualité permis par les innovations mises en place par les entreprises. Les créations d'emploi totales qui étaient de + 24 000 en 2018 repartent pour remonter à + 36 000 en 2019³⁶. Avec l'affaiblissement des tensions sur le marché du travail qualifié, la répartition des créations d'emplois entre emploi qualifié et emploi peu qualifié est cette fois plus équilibrée. En 2019, + 20 000 créations d'emploi correspondent à de l'emploi peu qualifié, et + 16 000 à de l'emploi qualifié, dont + 4 000 dans le secteur de la recherche. Par la suite les créations d'emploi dans la recherche tombent à zéro, et les gains en emploi dans les autres secteurs s'amenuisent peu à peu,

³⁶ En effet, la pression initiale à la hausse sur les salaires provoquée par l'embauche des chercheurs et ingénieurs a complètement disparu pour laisser place aux seuls effets positifs des innovations sur la productivité du travail, favorisant à la fois l'activité et l'emploi.

sous l'effet de l'obsolescence progressive des connaissances technologiques et des innovations qu'aura contribué à créer le CIR.

6.2. Résultats synthétiques et analyse coût-bénéfice des scénarios « CIR 2008-2016 »

Nous sommes parvenus maintenant à la présentation synthétique et à la comparaison des résultats des six scénarios de type « CIR 2008-2016 », avec également une analyse coût-bénéfice de leur efficacité.

Nous rappelons, comme indiqué dans le Tableau 7 qui présente les résultats de tous les scénarios, que trois des scénarios diffèrent sur l'effet de levier du dispositif sur les dépenses en R&D des entreprises. Ce sont les scénarios CIR08, CIR1 et CIR12 qui retiennent respectivement un effet de levier de 0,8, 1, et 1,2. Les autres hypothèses sont identiques pour les trois scénarios qui retiennent tous pour les effets Phillips et le comportement de marge des entreprises le fonctionnement habituel du modèle NEMESIS.

Les trois autres scénarios retiennent tous un effet de levier du CIR égal à 1. Ils diffèrent alors sur les hypothèses qui sont faites sur les effets Phillips et sur le comportement de marge à l'exportation des entreprises françaises. Dans le scénario CIR1P, les effets Phillips sont supprimés et les tensions sur le marché du travail ne rétroagissent pas sur la formation des salaires. Dans le scénario CIR1X les comportements de marge à l'exportation sont supprimés : la totalité des gains de productivité et/ou des variations de coût (qu'ils proviennent de l'amélioration des procédés de production ou de l'amélioration de la qualité des produits) est répercutée dans les prix de vente des produits sur les marchés étrangers. Enfin le scénario CIR1PX combine les deux précédents : il n'y a ni effets Phillips ni comportements de marge à l'exportation.

Tableau 7 : Les résultats de la première catégorie de scénarios - « CIR 2008-2016 »

	CIR08		CIR1		CIR1P		CIR1X		CIR1PX		CIR12			
	Levier	Marges à l'export Effet Phillips	Levier	Marges à l'export Effet Phillips	Levier	Marges à l'export Effet Phillips	Levier	Marges à l'export Effet Phillips	Levier	Marges à l'export Effet Phillips	Levier	Marges à l'export Effet Phillips		
	0.8	oui	oui	1	oui	oui	1	non	oui	non	non	1.2	oui	oui
Impact annuel moyen sur les indicateurs macro-économiques entre 2008 et 2020 (en euros constants de 2014)														
<i>(Cumul des écarts au scénario de référence entre 2008 et 2020, divisé par le nombre d'années : 13)</i>														
PIB	6.0		7.5		8.7		9.0		10.8		8.9			
Investissement	3.1		4.0		4.3		4.3		4.8		4.7			
Consommation finale	1.4		1.8		2.0		2.2		2.5		2.1			
Exportations nettes	1.4		1.8		2.4		2.4		3.5		2.1			
Valeur ajoutée du secteur de la recherche	1.0		1.2		1.3		1.3		1.3		1.5			
Valeur ajoutée industrielle	1.7		2.1		2.5		2.6		3.2		2.6			
Impact annuel moyen sur l'emploi entre 2008 et 2020 (en milliers)														
<i>(Cumul des écarts au scénario de référence entre 2008 et 2020, divisé par le nombre d'années : 13)</i>														
Emploi total	48		61		77		75		97		73			
Emploi qualifié (> bac)	22		28		35		33		43		33			
Emploi non qualifié (<= bac)	26		33		42		41		54		39			
Emploi dans la recherche	16		20		20		20		20		23			
Emploi dans l'industrie	1		1		5		5		11		2			
Analyse coût-bénéfice du dispositif en 2030: Multiplicateur (M) et taux de rendement social net (TRSN)														
<i>(M : Gain moyen de PIB par € de CIR versé ; TRS : Taux de rendement par € de CIR net de dépréciation)</i>														
Multiplicateur	2.3		2.9		3.4		3.5		4.2		3.5			
Taux de rendement	19.5%		28.5%		36%		37.5%		48%		37.5%			
Impact sur les finances publiques														
<i>(Impact annuel moyen entre 2008 et 2020, en points de PIB)</i>														
Recettes publiques	0.08		0.10		0.09		0.14		0.14		0.12			
Dépenses publiques	0.04		0.02		0.04		0.03		0.05		0.01			
Solde budgétaire	0.04		0.08		0.05		0.11		0.09		0.11			

La définition des scénarios présentés dans le Tableau 7 étant rappelée, il faut maintenant préciser comment sont construits les chiffres qui sont présentés dans ce tableau.

Dans le haut du tableau, nous présentons les impacts annuels moyen du CIR calculés avec le modèle sur un ensemble de 5 indicateurs : le PIB, l'investissement total incluant les investissements en R&D, l'investissement logement et l'ensemble des autres types d'investissement, la consommation finale des ménages, les exportations nettes, c'est-à-dire la différence entre les exportations et les importations, la valeur ajoutée du secteur de la recherche et la valeur ajoutée industrielle.

Le secteur de la recherche correspond à la définition de la NACE rev 2, secteur MB « Recherche et développement scientifique » de la nomenclature d'activité en 38 produits. La valeur ajoutée de ce secteur est calculée classiquement comme la différence entre la production et la consommation

intermédiaire totale. Il faut remarquer que dans les scénarios étudiés, la production du secteur de la recherche augmente *ex-ante* identiquement à la variation de l'investissement en R&D des entreprises provoqué par le CIR³⁷, puisque nous avons supposé que l'investissement dans la recherche publique reste inchangé. Mais, comme les consommations intermédiaires du secteur de la recherche représentent environ 41 % de sa production, la valeur ajoutée du secteur de la recherche augmente au final de seulement 49 % de la variation des investissements en R&D réalisés par les entreprises dans les scénarios étudiés. La valeur ajoutée industrielle dans le tableau correspond pour sa part à la somme des valeurs ajoutées des secteurs BZ à CM dans la nomenclature en 38 produits de l'INSEE.

Ces précisions données, les résultats pour ces cinq indicateurs d'activité sont calculés comme la somme de leurs variations entre 2008 et 2020, par rapport à leur niveau dans le scénario de référence du modèle, divisé par le nombre d'années représenté par cette période, soit 13. Les calculs sont réalisés en milliards d'euros constants de 2014, qui est l'année de base utilisée par l'INSEE pour la construction de ses indices chaînés. Le choix de la période 2008-2020 a été retenu pour obtenir un calcul d'impact calculé « aujourd'hui », puisque nous nous situons actuellement en 2020. Même si dans les six scénarios le CIR est supposé être supprimé après 2016, le choix de cette période est également justifié par le fait que les investissements dans la recherche ne commencent à produire des effets significatifs sur l'activité et l'emploi qu'après une période de temps de maturation de 4 à 6 ans, comme nous venons de le voir.

Pour prendre un exemple de lecture des résultats pour les indicateurs macroéconomiques, le chiffre de 7,5 milliards pour le PIB obtenu pour le scénario CIR1 indique qu'en moyenne, sur la période 2008-2016, la dépense fiscale distribuée par l'État au titre du CIR sur la période allant de 2008 à 2016 en renforcement du dispositif, a produit un gain annuel de PIB de 7,5 milliards. On obtient ainsi simplement l'intégrale des gains de PIB en multipliant ce chiffre par 13, soit un gain de $7,5 \times 13 = 97,5$ milliards pour l'ensemble de la période considérée pour le calcul.

Viennent ensuite dans le tableau les résultats pour l'emploi. La logique de présentation des résultats pour l'emploi est similaire à celle que nous venons d'expliquer pour les indicateurs macroéconomiques, la principale différence étant qu'ils sont exprimés en milliers d'emplois en personnes physiques. Les chiffres du tableau indiquent pour chacune des 5 catégories de travail considérés, le gain annuel moyen. Le chiffre 61 pour l'emploi total dans le cas du scénario CIR1 indique ainsi qu'en moyenne, sur la période 2008-2020, le CIR a augmenté le niveau de l'emploi en France de + 61 000. Si

³⁷ Cela aux variations près des importations et des exportations de services du secteur de la recherche, qui représentent chacune respectivement environ 11 % et 13 % de la production de secteur.

l'on multiplie ce chiffre par le nombre d'années, on obtient le nombre d'emplois-an créés, soit 61 000 x 13 = 403 000.

Les deux indicateurs suivants disponibles dans le tableau présentent une analyse coût bénéfice du dispositif. Les calculs sont cette fois réalisés pour l'ensemble de la période allant de 2008 à 2030, pour prendre en compte à la fois l'ensemble des coûts du dispositif pour les pouvoirs publics, c'est-à-dire l'intégrale des crédits d'impôts versés entre 2008 et 2016 au titre du renforcement du dispositif, et l'ensemble de ses bénéficiaires, lesquels, comme nous l'avons vu dans la section précédente, courent jusqu'en 2030, une fois que les innovations qu'il a provoquées sont arrivées presque à obsolescence complète.

Le premier indicateur est le multiplicateur, qui prend au numérateur l'intégrale des gains de PIB provoqués par le dispositif entre 2008 et 2030, et au dénominateur l'intégrale des crédits d'impôts qui ont été versés entre 2008 et 2016, sous l'effet du renforcement du CIR après 2007. Les montants pris en compte dans ce calcul sont tous en euros constants de 2014. La valeur de 2,9, pour le multiplicateur dans le cas du scénario CIR1, souligne ainsi qu'en moyenne pour chaque euro versé par l'État au titre du renforcement du dispositif entre 2008 et 2016, il a résulté un gain de PIB égal à + 2,9 euros, soit un effet multiplicateur proche de 3.

Le deuxième indicateur, le taux de rendement social net de dépréciation (TRSN) permet de mieux apprécier l'efficacité du dispositif et son coût d'opportunité, comparativement à toute autre utilisation des fonds publics. La méthode de calcul est analogue à celle du taux de rendement interne, qui est la valeur du taux d'actualisation qui annulerait le bénéfice du dispositif pour la société, avec des valeurs dans la littérature économétrique sur la R&D qui peuvent atteindre jusqu'à 50 % ou 100 %.

Reste enfin les dernières lignes du tableau où l'on a indiqué l'impact du renforcement du CIR après 2007 sur les finances publiques. Dans le cas du scénario CIR1, alors que sur la période 2008-2020 le dispositif a coûté en moyenne annuelle 0,14 point de PIB aux finances publiques, les résultats du tableau indiquent que les dépenses n'ont augmenté en moyenne, d'après les calculs du modèle NEMESIS, que de + 0,02 point de PIB. Cela résulte de la réduction de certaines dépenses dans le scénario, comme les indemnités chômage du fait de l'augmentation de l'emploi, et de l'hypothèse qui a été retenue dans l'ensemble des scénarios de constance des investissements publics et de la consommation finale du gouvernement, qui restent ainsi égaux au niveau qu'ils ont dans le scénario de référence du modèle. Du côté des recettes, sous l'effet positif des investissements en R&D provoqués par le CIR, nous obtenons une augmentation annuelle moyenne de + 0,09 point de PIB, conduisant ainsi à une amélioration moyenne de + 0,05 point de PIB du solde budgétaire.

Pour en venir maintenant au commentaire des résultats du tableau, nous soulignerons plusieurs points :

1. Au niveau des impacts macroéconomiques tout d'abord et toujours dans le cas du scénario central CR1, l'analyse de la décomposition des gains de PIB de + 7,5 milliards par an est conforme aux résultats présentés plus haut, avec la contribution la plus forte pour l'investissement, + 4 milliards par an, et des contributions relativement identiques pour la consommation finale des ménages et le solde extérieur, de + 1,8 milliard par an chacune. Sur le gain de PIB de + 7,5 milliards annuel, 16 % (soit 1,2 milliards) proviennent de la création de valeur ajoutée dans le secteur de la recherche, et + 2,1 milliards, soit 28 %, de l'augmentation de la valeur ajoutée dans les secteurs industriels. Ainsi environ 56 % des gains de PIB, soit plus de la moitié, provient d'autres secteurs de l'économie (les secteurs de service principalement), qui n'ont pourtant reçu qu'un peu plus d'un tiers des créances de CIR qui ont été accordées au cours de la période 2008-2016 en renforcement du dispositif. Ce résultat illustre l'importance de prendre en compte l'ensemble des effets du bouclage macroéconomique, pour apprécier les impacts économiques du dispositif. Par exemple, les innovations mises en place par le secteur des équipements de transport vont induire des gains de productivité dans les services de transport qui les achètent, qui vont eux-mêmes induire une réduction du coût de ces services, et un ainsi un transfert de surplus positif pour les ménages (gains de pouvoir d'achat) et les entreprises (baisse des coûts) qui les utilisent.

La comparaison des résultats des différents scénarios souligne pour les scénarios CIR08, CIR1 et CIR12 que les impacts macroéconomiques sont relativement proportionnels à l'effet de levier du CIR sur les investissements en R&D des entreprises qui est retenu. Les gains en PIB sont par exemple réduits de - 20,7 % dans le scénario CIR08 par rapport au scénario CIR1, c'est-à-dire quand l'effet de levier utilisé dans la simulation passe d'une valeur de 1 à une valeur de seulement 0,8. Lorsque l'on retient cette fois une valeur de 1,2 pour l'effet de levier, les gains de PIB augmente cette fois de + 18,7 % par rapport au cas CIR1 où l'on utilise un effet de levier égal à 1. Il existe toutefois une légère non linéarité des impacts macroéconomiques à l'effet de levier qui est utilisé, en raison principalement des effets de tension sur le marché du travail qui transite par les effets Phillips : à un gain de PIB supérieur est également associé un gain d'emploi plus élevé, comme l'indique le Tableau 7, et donc une réduction plus importante du chômage, conduisant à une augmentation plus forte des salaires réels.

Pour mieux illustrer le rôle des effets Phillips sur l'importance des impacts macroéconomiques du dispositif, le scénario CIR1P qui retient comme le scénario central CIR1 un effet de levier de

1, mais où les effets Phillips ont été supprimés, conduit à un gain de PIB de + 8,7 milliards, soit 15,9 % supérieur au gain de + 7,5 milliards obtenu dans le cas CIR1. Les gains relatifs de PIB sont ainsi presque identiques dans le scénario où l'on supprime les effets Phillips (CIR1P comparé à CIR1) à ceux du scénario où l'on augmente l'effet de levier (CIR12 comparé à CIR1). Dans le scénario CIR1P dans lequel les tensions inflationnistes sont contenues, les effets sur le commerce extérieur sont cette fois supérieurs de près de 36 % par rapport aux résultats du scénario central CIR1, alors que les gains en commerce extérieur n'augmentent que de 19 % dans CIR12 comparé à CIR1. Les résultats des scénarios de type « CIR forever », présentés dans la prochaine section, permettront d'illustrer encore davantage l'importance des politiques visant à contenir les pressions inflationnistes, en accompagnement des politiques de soutien à la R&I des entreprises, comme par exemple les politiques d'éducation accroissant le nombre de chercheurs et de techniciens supérieurs pouvant être employés dans le secteur de la recherche.

Le scénario CIR1X permet cette fois d'apprécier les effets du comportement de marge à l'exportation des entreprises sur l'importance des impacts macroéconomiques. Dans ce scénario les entreprises répercutent 100 % de leurs gains de productivité (baisse des coûts et des prix ajustés de la qualité des produits) dans le prix de vente de leurs produits à l'export, alors que 60 % des gains de productivité sont utilisés pour augmenter les marges à l'export dans le scénario CIR1. Nous voyons que l'amélioration relative du solde extérieur dans ce scénario, comparé au cas CIR1, est identique à celle du scénario précédent CIR1P (+ 36 %) où les effets Phillips ont été supprimés. Toujours en comparaison avec les résultats du scénario central CIR1, lorsque l'on supprime les effets Phillips les gains additionnels pour les ménages en consommation finale n'augmentent que de + 11 %, contre + 25 % lorsque ce sont les comportements de marge qui sont supprimés, ce qui conduit également à un gain de PIB légèrement supérieur pour le scénario CIR1X (+ 9 milliards) par rapport au scénario CIR1P (+ 8,7 milliards). Ainsi, selon que les entreprises sont *price maker* ou *price taker* sur leurs marchés d'exportation, et qu'elles ont ou non besoin de reconstituer leurs marges, les effets sur le solde extérieur et sur la demande extérieure des politiques de soutien à la recherche auront des impacts différents. Ce dernier résultat est toutefois à nuancer dans la mesure où dans le modèle NEMESIS, il n'y a pas de rétroaction des variations de marge des entreprises sur leurs décisions d'investissement et donc le surplus engrangé par les entreprises est stérilisé.

Le scénario le plus favorable, avec les effets maximums sur les indicateurs macroéconomiques, est finalement celui dans lequel on supprime à la fois les comportements de marge à l'exportation des entreprises, et les effets Phillips, c'est-à-dire le scénario CIR1PX. Ce dernier

scénario combine les avantages des deux précédents pour le commerce extérieur, avec des effets renforcés sur la compétitivité extérieure des entreprises. Par rapport au scénarios CIR1, les gains en termes de solde extérieur sont ainsi supérieurs de 95 %, soit près du double. Les impacts sur les gains relatifs en solde extérieur de ce dernier scénario, sont ainsi supérieurs à la simple addition des gains relatifs des scénarios CIR1X et CIR1P, qui nous donnerait + 76 %, toujours comparé aux résultats du scénario CIR1. Les gains relatifs pour les autres composantes du PIB (consommation finale et investissement) sont également légèrement plus que proportionnels à la simple addition des résultats des scénarios CIR1P et CIR1X.

Enfin, quel que soit le scénario, ils indiquent tous une contribution relativement similaire, de l'ordre de + 28 % à + 29 %, des gains de valeur ajoutée industriels aux gains totaux de PIB.

2. En ce qui concerne maintenant les résultats pour l'emploi, nous rappelons que pour le scénario central CIR1 le gain moyen annuel en emplois sur la période 2008-2020 est de l'ordre de + 61 000. Sur ces 61 000 emplois, 28 000 sont des emplois qualifiés (niveau de qualification supérieur au bac) et 33 000 des emplois peu qualifiés (niveau de qualification inférieur ou égal au bac).

Au niveau de la répartition sectorielle des emplois, nous voyons également que 20 000 sont créés directement dans le secteur de la recherche, environ mille (1 227 exactement) dans l'industrie, et tous les autres, soit environ 40 000, dans les autres secteurs de l'économie : les secteurs de service, la construction et l'agriculture.

La faiblesse des créations d'emplois dans l'industrie, 2 % des créations totales environ alors que dans le scénario 28 % des gains de PIB sont des gains de valeur ajoutée industrielle, a de quoi surprendre. Cela résulte de deux choses. Tout d'abord, des forts gains de productivité dans les secteurs industriels, dans lesquels sont concentrés les investissements en R&D. Ensuite, de la façon de comptabiliser les emplois dans la nouvelle nomenclature d'activité apparue en 2014. Ainsi l'intégralité des emplois de recherche est aujourd'hui comptabilisée dans le secteur MB Recherche et développement scientifique, qu'il s'agisse d'emplois créés dans le secteur de la recherche publique, ou dans celui de la recherche privée. Les 20 000 emplois créés dans la recherche dans le scénario, qui sont des emplois dans le secteur privé, correspondent ainsi pour environ 60 % à des emplois industriels, comme ceux dans la recherche pharmaceutique. Ces emplois créés dans l'industrie seraient ainsi plutôt de l'ordre de 13 000, soit environ 21 % du total, si nous considérons les emplois de recherche liés à l'activité industrielle. Si l'on retient ce chiffre pour les gains en emploi dans l'industrie, chaque emploi créé dans l'industrie aurait ainsi contribué à générer de l'ordre de 162 000 euros de

valeur ajoutée en moyenne sur la période 2008-2020, et de l'ordre de 217 000 euros si l'on réaffecte également une partie des gains en valeur ajoutée de la branche recherche à la valeur ajoutée industrielle. Par comparaison, chaque emploi créé dans les autres secteurs de l'économie (les services hors recherche, la construction et l'agriculture) aurait permis de générer de l'ordre de 105 000 euros de valeur ajoutée. Dans le scénario, les gains de productivité dans l'industrie sont ainsi plus élevés, de l'ordre de 54 % à 106 %, aux gains de productivité dans les autres secteurs de l'économie³⁸.

Si l'on compare maintenant les différents scénarios entre eux, mis à part les créations d'emplois moins importantes dans la recherche dans le scénario CIR08, et plus importantes dans le secteur CIR12, c'est-à-dire lorsque l'on considère un effet de levier du CIR inférieur ou au contraire supérieur, on constate que les créations relatives d'emplois dans le Tableau 7, à l'exception de l'emploi industriel, sont relativement proportionnelles aux gains de PIB dans les différents scénarios. Les différences entre scénarios sont beaucoup plus marquées pour l'emploi industriel (hors recherche), avec notamment environ 4 000 créations d'emplois de plus dans les scénarios CIR1P et CIR1X que dans le central scénario CIR1 et jusqu'à 10 000 créations de plus dans le scénario CIR1PX. En effet, dans l'ensemble de ces 4 scénarios dans lesquels l'effet de levier du CIR est supposé égale à 1, les gains de productivité du travail sont relativement identiques, puisque l'augmentation de l'effort de recherche des entreprises est le même. Cela permet cette fois à l'emploi industriel d'augmenter proportionnellement au surcroît de valeur ajoutée industrielle dans les scénarios CIR1P, CIR1X et CIR1PX, comparé au scénario CIR1.

3. Les résultats de l'analyse coût-bénéfice indiquent finalement des valeurs de multiplicateur du dispositif du CIR sur l'évolution du PIB, proportionnelles (par définition) aux différences de gains de PIB mesurés pour les différents scénarios. Remarquons toutefois que la valeur du multiplicateur est comprise selon le scénario entre 2,3 (CIR08) et 4,2 (CIR1PX), soit une différence en pourcentage entre ces deux bornes de 82 %. Ce chiffre souligne la marge d'incertitude sur l'ampleur des impacts économiques du dispositif³⁹, qui dépend à la fois de l'efficacité avec laquelle celui-ci est mis en œuvre (que traduit l'importance de l'effet de levier), du contexte macroéconomique durant lequel il est appliqué et des possibles politiques

³⁸ Nous rappelons que d'après les mécanismes de R&I du modèle, les impacts de la R&D sur la productivité sont plus importants dans les secteurs intensifs en R&D, c'est-à-dire dans l'industrie qui concentre l'essentiel de ces investissements.

³⁹ Il faut rappeler que la borne basse qui est retenue dans le scénario CIR08 sur l'effet de levier du CIR sur l'investissement des entreprises dans la recherche, 0,8, est très en-deçà de la borne basse que l'on peut retirer des études économétriques, plus proche de 0,9.

d'accompagnement qui sont mises en place, dont les effets sont reflétés dans les comportements de marge des entreprises et par l'importance des effets Phillips. Le taux de rendement social net du dispositif, tel que nous l'avons défini, évolue lui aussi proportionnellement aux gains relatifs de PIB entre les différents scénarios. Le TRSN est compris entre 19,5 % et 48 %, et chaque variation de 1 point des gains de PIB entre deux scénarios se traduit par une variation dans le même sens de l'ordre de 9 points du TRSN. Remarquons enfin que ces valeurs estimées pour le TRSN du CIR sont plutôt dans la marge inférieure des calculs de TRSN de la littérature économétrique sur la R&D, où ils sont le plus souvent compris entre 50 % et 100 %. Ils seraient supérieurs dans le cas d'une politique de soutien à la recherche coordonnée au niveau européen⁴⁰, en raison notamment des externalités de connaissances et aux surplus de productivité qui prennent effet, dans ce cas, entre pays européens et ce malgré les effets de compétitivité relative entre pays européen. Dans ce cadre européen, les taux de rendements sociaux peuvent dépasser de 30 % à 50 % les valeurs estimées ici dans le cas du renforcement du CIR.

4. La dernière partie du tableau présente finalement un bilan du dispositif en termes de finances publiques pour les différents cas étudiés. Nous voyons que le renforcement du CIR qui a représenté environ 0,14 point de PIB en moyenne sur la période 2008-2020, pour les seules créances accordées entre 2008 et 2016, n'a conduit qu'à une augmentation moyenne des dépenses publiques comprise entre + 0,01 point et + 0,04 point de PIB, soit entre + 0,10 et + 0,13 point de moins que le coût direct pour l'état du dispositif. L'impact positif du CIR sur le niveau de l'activité économique et sur les créations d'emplois permet en effet de réduire certaines dépenses, comme les allocations chômage. De plus, dans toutes les simulations les investissements publics et les dépenses de consommation finale des administrations publiques ont été maintenus constants et égaux à leur niveau dans le compte de référence du modèle, ce qui réduit mécaniquement les dépenses publiques par point de PIB, dès lors que le PIB augmente dans un scénario. Du côté des recettes publiques, l'accroissement de l'activité économique les augmente, en moyenne annuelle entre 2008 et 2020, de + 0,08 point (CIR08) à + 0,14 point (CIR1X et CIR1PX) de PIB. Enfin, l'impact mesuré du dispositif sur le solde budgétaire dans les différents scénarios est compris entre + 0,04 (CIR08) et + 0,11 (CIRX et CIR12) point de PIB en moyenne annuelle.

⁴⁰ Par exemple si les pays européens alignaient le niveau moyen de leurs aides fiscales à la R&D sur celui aujourd'hui atteint en France, qui est le plus généreux après celui de la Belgique.

7. Les impacts économiques des scénarios « CIR forever »

Nous présentons dans cette section les résultats des six scénarios « CIR forever » (Cf. infra Tableau 6). La seule différence avec les six scénarios « CIR 2008-2016 » dont nous venons de présenter les résultats est que cette fois, par hypothèse, le dispositif du CIR continue à fonctionner après 2016, comme c'est effectivement le cas aujourd'hui en 2020. Pour les années après 2016, nous avons supposé que le CIR représentera un total de créances d'environ 0,28 point de PIB, la moyenne observée au cours des années 2010-2016, avec un minimum de 0,27 point en 2011, et un maximum de 0,29 point en 2015. Nous avons également supposé qu'après 2016 le renforcement du dispositif en 2008 continuerait à représenter environ 0,18 point de PIB, soit près des deux tiers du dispositif d'ensemble.

Par rapport aux scénarios « CIR 2008-2016 », ces nouveaux scénarios permettent une analyse plus approfondie des impacts à long terme du dispositif sur la compétitivité et le taux de croissance de l'économie française (Cf. Encadré 2).

Encadré 2 : Les mécanismes à l'œuvre dans les scénarios « forever »

D'après cette seconde famille de scénarios où l'effort est prolongé et où l'intensité de la recherche est durablement accrue, on se trouve dans le cas de l'« effet d'intensité » qui va augmenter la capacité des entreprises à exploiter les connaissances et donc, selon les théories de la croissance endogène, à augmenter durablement le taux de croissance de l'économie. Les effets vont être bien différents du cas précédent au bout d'un certain délai. Par ailleurs, les trois phases observables précédemment ne seront plus distinctes puisqu'elles se « chevauchent » : la « phase d'obsolescence » de certaines dépenses coexistera avec celles « d'innovation » de dépenses plus tardives et « d'investissement » des dépenses les plus récentes.

Au niveau de chaque secteur un processus de croissance endogène s'enclenche, c'est-à-dire une augmentation du taux de croissance ; mais ce processus va vite se heurter à certaines réactions (*feedbacks*) macroéconomiques qui vont modifier ce taux. Comme nous l'avons vu précédemment, ce qui peut le plus infléchir ce taux, ce sont les risques inflationnistes qui, dans ce scénario, sont plus importants car l'accroissement du PIB et de l'emploi sont plus élevés.

A quel rythme pourra donc s'accroître le PIB s'il ne peut suivre celui indiqué par la croissance endogène ?

En fait, pour simplifier, nous allons commencer à raisonner sur l'emploi : celui-ci va s'accroître mais cet accroissement va être limité parce qu'il va converger vers le nouveau taux de chômage naturel du modèle, qui est plus faible que le précédent. Pourquoi ? Parce que le taux de chômage naturel, celui qui donne une évolution des prix à long terme compatible avec l'équilibre extérieur, va être déplacé en raison des gains de croissance de productivité qui permettent d'absorber sans hausse

de coûts la hausse du taux de croissance des salaires due à la réduction du taux de chômage. Cette propriété de limitation de la hausse de l'emploi est visible sur la Figure 7).

La stabilisation du chômage naturel que l'on déduit de cette courbe de l'emploi confirme bien que le taux de croissance de la productivité du travail est stabilisé, quoi qu'à un niveau plus faible que celui donné théoriquement par la croissance endogène compte tenu de l'accroissement de l'intensité de R&D. Le PIB croît au même rythme que la productivité du travail puisque l'emploi est fixé.

La suppression de l'effet Phillips et du comportement de marge des exportateurs va libérer la croissance surtout de la contrainte d'offre d'emplois, et rapprocher ainsi le taux de croissance de celui de la théorie de la croissance endogène.

Les six scénarios se différencient à nouveau (Cf. infra Tableau 6) en fonction de la valeur de l'effet de levier du dispositif sur l'effort d'investissement en R&D des entreprises bénéficiaires (égale à 1 pour tous les scénarios sauf pour CIR08FE (0,8) et CIR12FE (1,2), ou des hypothèses sur les effets Phillips et les comportements de marge à l'exportation des entreprises qu'ils retiennent.

Nous présentons tout d'abord les résultats du scénario CIR1FE, lequel comme le scénario central CIR1 de la section précédente retient un effet de levier du dispositif égal à 1, et où les hypothèses sur les effets Phillips et sur les comportements de marge des entreprises à l'exportation sont celles du fonctionnement habituel du modèle NEMESIS. Pour ce scénario, les résultats sectoriels (valeur ajoutée et emploi) sont également détaillés à partir d'une réagrégation de la NA 38 en 22 secteurs d'activité.

Nous comparons ensuite les résultats de ce premier scénario avec ceux des trois autres scénarios retenant également un effet de levier du dispositif sur l'investissement en R&D des entreprises égal à 1, mais dans lesquels soit les effets Phillips, soit les comportements de marge à l'exportation, soit à la fois les effets Phillips et les comportements de marge, sont supprimés :

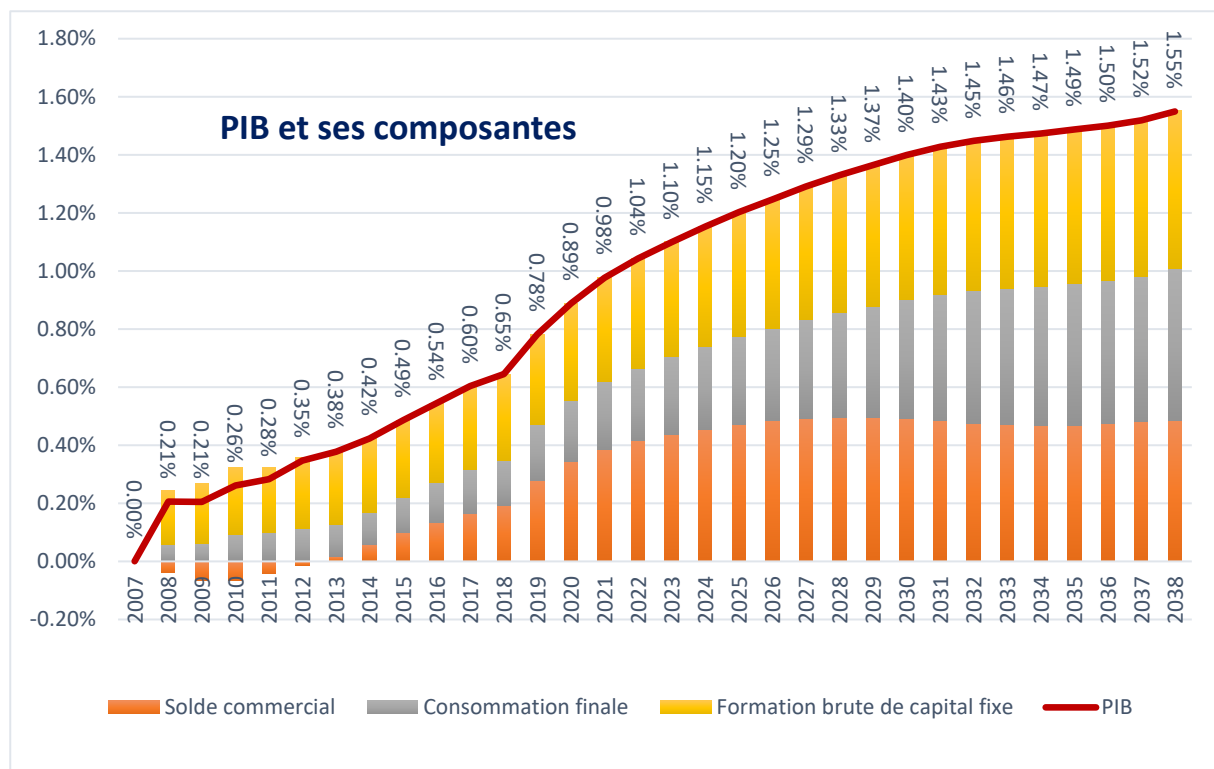
1. le scénario CIR1FEP **sans** effets Phillips et **avec** comportements de marge à l'exportation ;
2. le scénario CIR1FEX **avec** effets Phillips et **sans** comportements de marge à l'exportation ;
3. et le scénario CIR1FEPX **sans** effets Phillips et **sans** comportements de marge à l'exportation.

Enfin, comme dans la section précédente, nous résumons et comparons à partir d'un tableau de synthèse les résultats de l'ensemble des six scénarios simulés, avec également une analyse coût-bénéfice.

7.1. Les résultats du scénario CIR1FE avec effets Phillips et comportements de marge à l'exportation

En ce qui concerne tout d'abord les résultats pour le PIB dans le cas du scénario CIR1FE avec effets Phillips et comportements de marge à l'exportation, la Figure 6 permet à nouveau de distinguer plusieurs phases d'impacts.

Figure 6 : Scénario CIR1FE – Les résultats pour le PIB et ses composantes, en points de PIB calculés en écart au scénario de référence du modèle NEMESIS



La première phase « d'investissement » qui court entre 2008 et 2010, dans laquelle les impacts sur l'activité proviennent essentiellement du jeu du multiplicateur de dépense keynésien, et la phase « d'innovation » entre 2011 et 2016, où les impacts proviennent cette fois surtout des innovations de procédé et de produit mises en place par les entreprises, sont nécessairement identiques à celles du scénario précédent CIR1 dans lequel le dispositif est stoppé après 2016.

Les différences entre les scénarios CIR1 et le scénario CIR1FE commencent ainsi après 2016. Alors que précédemment la troisième phase « phase d'obsolescence » débutait en 2017, avec l'arrêt du dispositif et une diminution immédiate importante de ses effets positifs sur l'activité économique, cette fois, avec le scénario CIR1FE, la « phase d'innovation » se prolonge bien au-delà de 2016. Nous observons notamment sur la Figure 6 que les gains de compétitivité extérieure provoqués par les innovations de procédé et de produit progressent cette fois d'environ + 0,13 point de PIB en 2016

jusqu'environ + 0,49 point en 2027. Le solde extérieur est à cette date le premier contributeur au gain de PIB qui atteint + 1,29 %, avec des contributions respectives de + 0,34 point pour la consommation finale, et de + 0,46 point pour l'investissement.

Après 2027, mais c'est déjà légèrement visible les années précédentes, commence la troisième phase, que nous qualifierons « d'essoufflement ». Les innovations continuent à arriver, mais les gains en termes de commerce extérieur commencent à stagner, avec même de légères diminutions certaines années, comme entre 2031 et 2037. Cela est dû essentiellement aux tensions qui se développent sur le marché du travail, qui sont liées aux créations d'emplois (et à la diminution du chômage), comme nous le verrons après. Les gains de PIB continuent à augmenter, mais leur progression est cette fois entièrement due à la progression de la demande intérieure. Ils atteignent finalement 1,55 % en 2038, la dernière année de simulation, avec des contributions cette fois relativement égales pour le solde extérieur (+ 0,49 point), la consommation des ménages (+ 0,52 point) et l'investissement (+ 0,54 point).

Du côté des créations d'emplois, la première différence avec le scénario CIR1 concerne l'emploi de recherche qui ne diminue plus après 2016 puisque cette fois le CIR est maintenu jusqu'en 2038. Le nombre des emplois créés dans la recherche est ainsi relativement stable après 2016, à environ 33-34 mille (Cf. Figure 7).

Nous constatons également que par rapport au scénario précédent l'emploi hors recherche continue à progresser après 2016, au lieu de diminuer brutalement, en raison de l'augmentation des gains de PIB après 2016, entraînés par le dynamisme des demandes intérieure et extérieure. Les créations d'emplois hors recherche atteignent en 2030 + 114 mille pour l'emploi peu qualifié et + 80 mille pour l'emploi qualifié, soit au total + 227 mille emplois en incluant également les créations d'emplois dans la recherche.

Après 2030, il n'y a pas de nouvelles créations d'emplois. Bien que les innovations provoquées par les investissements en R&D continuent à arriver permettant aux entreprises d'améliorer leur compétitivité, les tensions qui apparaissent sur le marché du travail induisent dans la direction opposée une augmentation des coûts de production avec un impact négatif important sur la demande. Les effets des innovations et ceux des tensions sur le marché du travail finissent par se neutraliser, et les créations d'emplois sont complètement bloquées.

Figure 7 : Scénario CIR1FE – Les résultats pour l’emploi, en milliers et en écart au scénario de référence du modèle NEMESIS

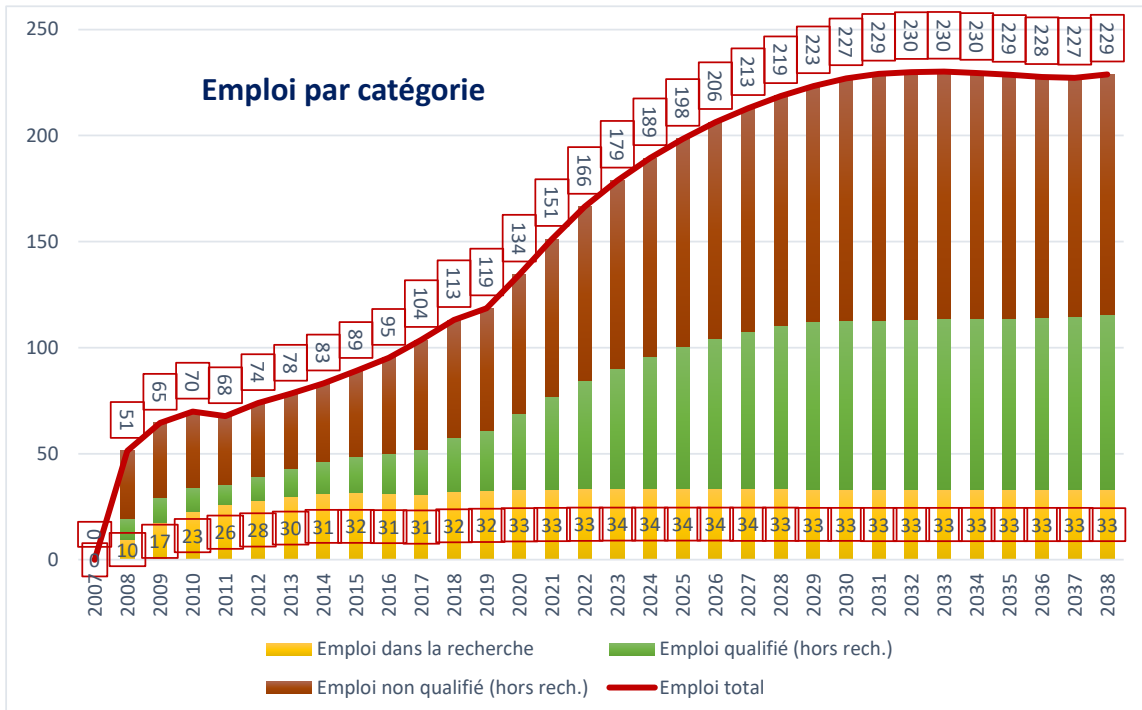
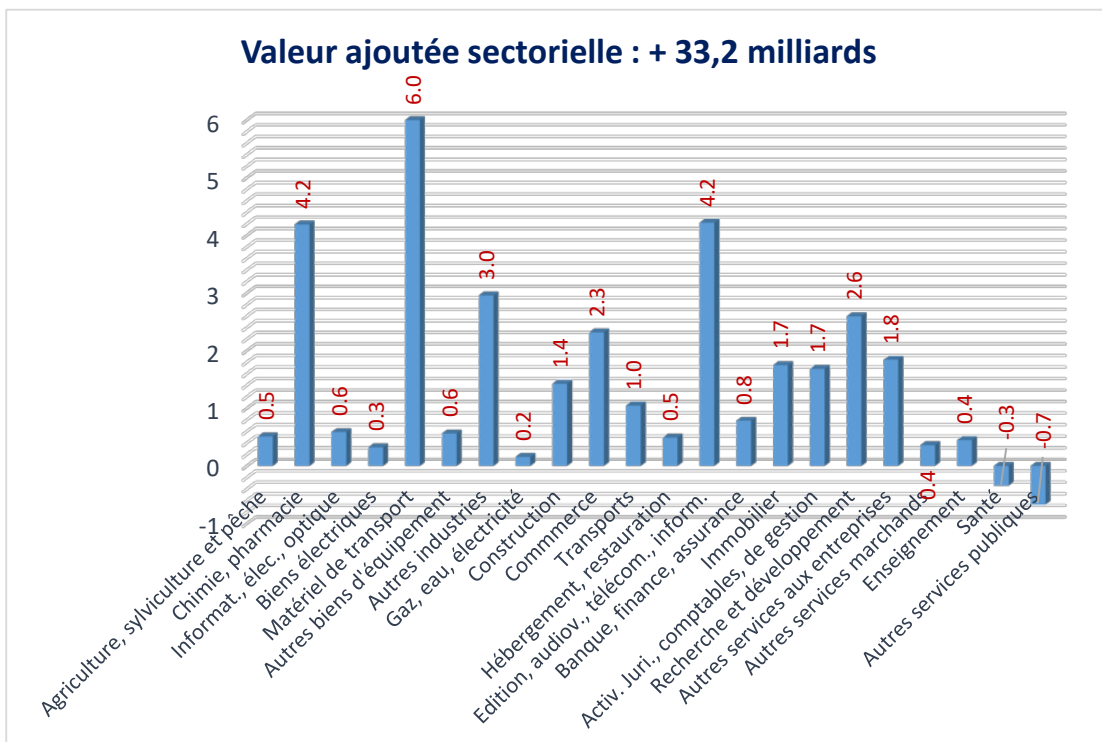


Figure 8 : Scénario CIR1FE - Les résultats pour la valeur ajoutée sectorielle en 2030, en milliards d’euros constants de 2014 et en écart au scénario central du modèle NEMESIS



Nous voyons qu'à long terme, avec les résultats de ce premier scénario basé sur les hypothèses de fonctionnement habituelles du modèle NEMESIS, que le dispositif du CIR ne permet pas de continuer à accroître durablement la compétitivité extérieure de la France et de générer des gains de croissance économique substantiels à long terme, pas plus qu'il ne permet d'obtenir un impact positif durable sur les créations d'emplois. Les gains en termes de solde extérieur, de PIB et d'emploi obtenus au cours des premières périodes sont bien durables, mais le blocage du processus de croissance par les pressions inflationnistes qui finissent par apparaître ne permettent pas de les accroître davantage.

Au niveau des résultats sectoriels, la Figure 8 indique que les gains en termes de valeur ajoutée, qui s'élèvent globalement à 33,2 milliards d'euros en 2030, sont concentrés pour une part importante dans les secteurs industriels qui sont les principaux bénéficiaires du CIR (Cf. Figure 8). Les gains dans l'industrie s'élèvent au total à + 14,6 milliards (44 % du total) avec + 4,2 milliards pour la Chimie-Pharmacie, + 0,6 milliard pour l'Informatique, les Biens électroniques et l'Optique, + 0,3 milliard pour les Biens électriques, + 6 milliards pour le Matériel de transport, + 0,6 milliard pour les Autres biens d'équipement, et + 3 milliards pour les Autres industries.

Figure 9 : Montant distribués par secteur au titre du renforcement du CIR. Évaluation pour l'année 2016, en milliards d'euros constants de 2014.

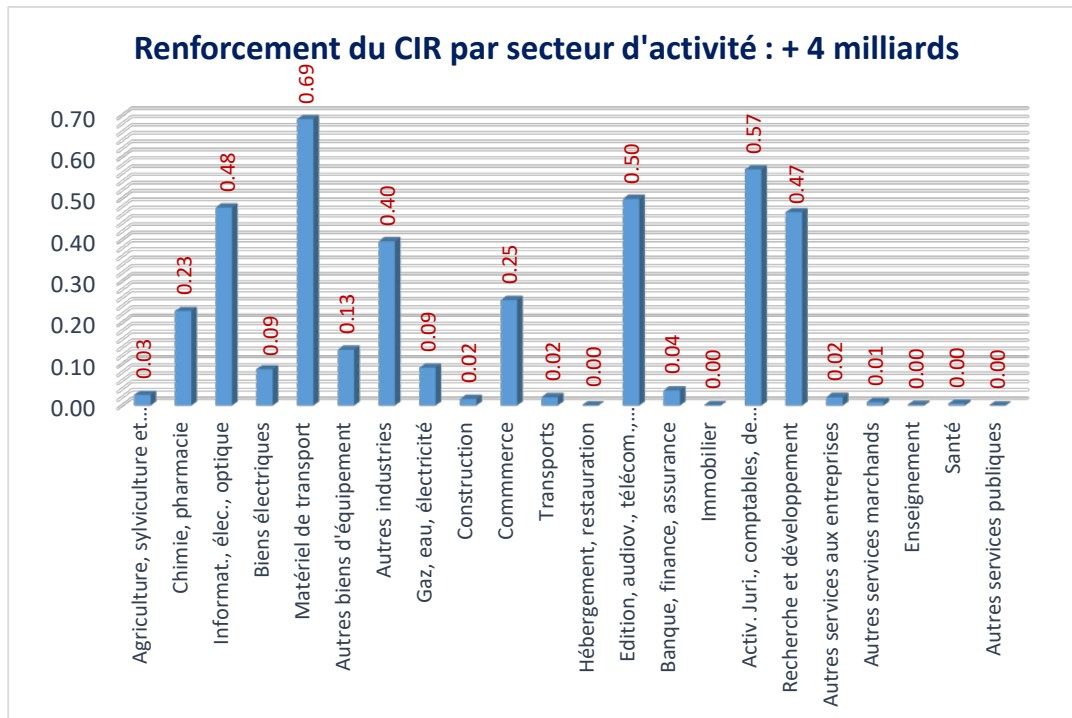
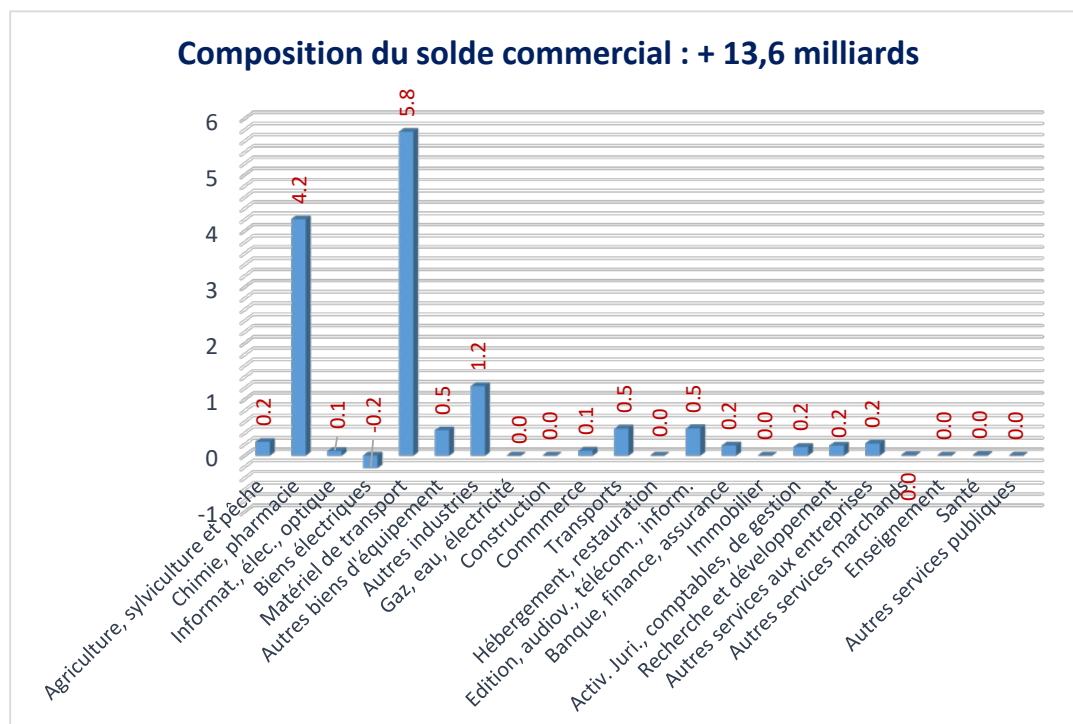


Figure 10 : Scénario CIR1FE : Les résultats pour le solde commercial par secteur en 2030, en milliards d'euros constants de 2014 et en écart au scénario central du modèle NEMESIS

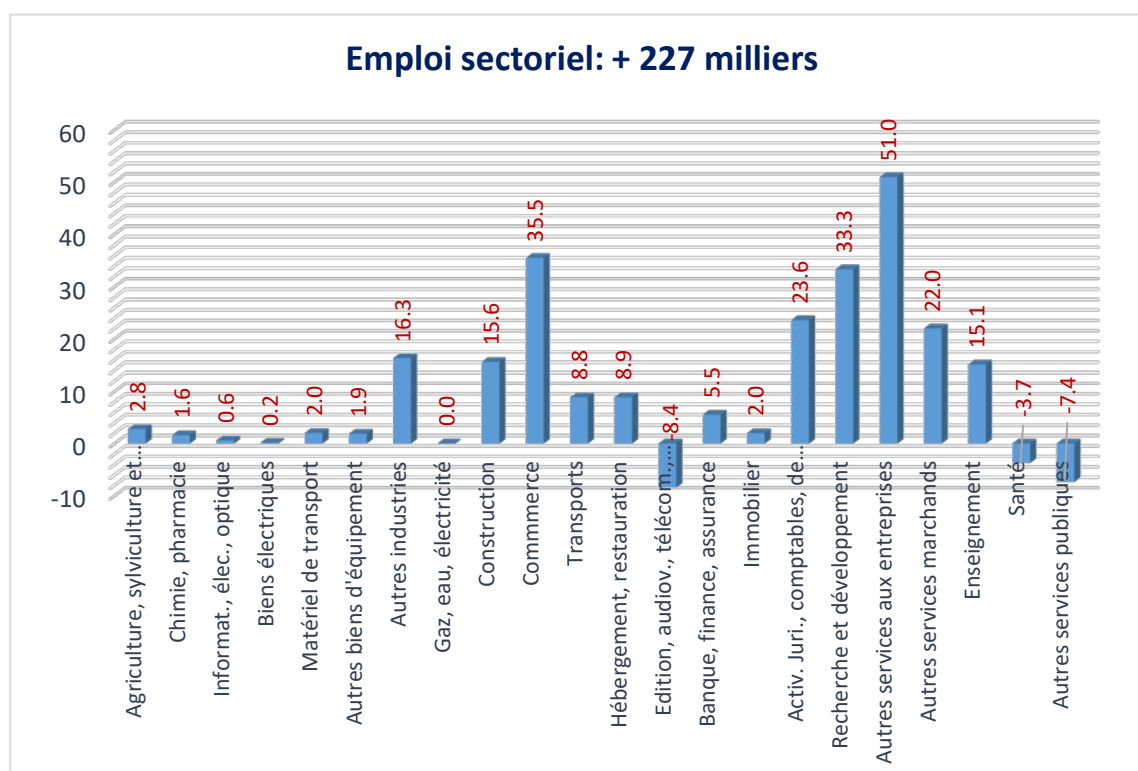


La Figure 10 qui présente cette fois les résultats pour le solde extérieur souligne que les gains de valeur ajoutée dans l'industrie proviennent pour une part très importante de l'amélioration de la compétitivité des secteurs industriels vis-à-vis de la concurrence exercée par les entreprises étrangères. Nous observons notamment que dans le cas de la Chimie-Pharmacie, que l'intégralité des gains de valeur ajoutée provient de l'amélioration du solde commercial du secteur. De façon similaire, pour le matériel de transport sur les + 6 milliards de gain de valeur ajoutée, + 5,8 milliards proviennent du solde extérieur, tandis que pour les Autres industries le solde commercial contribue pour + 1,2 milliard au gain de valeur ajouté de + 3 milliards réalisé par ce secteur.

En ce qui concerne les autres secteurs, les secteurs de services marchands principalement, nous voyons que les gains en termes de solde extérieur sont extrêmement limités puisque l'industrie réalise à elle seule près des trois quarts des exportations de la France. Par contre, environ 54 % des gains globaux de valeur ajoutée (+ 17,7 milliards) sont réalisés par les services marchands, dont + 2,6 milliards directement par le secteur de la Recherche et + 4,2 milliards par le secteur des industries créatives, composées notamment de l'Édition, de l'Audiovisuel, des Télécom et des Services informatiques, + 1,7 pour les Activités juridiques, comptables et de gestion, soit tout un ensemble de secteurs qui bénéficient de façon importante du CIR. Pour les autres secteurs, les gains d'activité

proviennent surtout du dynamisme de la demande intérieure dans le scénario, que ce soit pour la demande de services émanant des entreprises ou des particuliers.

Figure 11 : Scénario CIR1FE : Les résultats pour l'emploi par secteur en 2030, en milliers et en écart au scénario central du modèle NEMESIS



Au niveau de l'emploi enfin, sur les 227 000 créations d'emplois en 2030, environ 23 000, soit près de 10 % du total sont des emplois industriels. C'est bien plus favorable pour l'emploi industriel que les résultats du scénario CIR1 présentés dans la section précédente, où seulement 2 % des créations d'emplois totales, en moyenne, correspondaient à des emplois industriels. La raison en est que lorsque le dispositif est maintenu après 2016, comme dans le cas présent, la phase d'innovation dure plus longtemps et, comme nous venons de le voir, une part très importante des gains d'activité globaux (44 %) se concentre dans l'industrie qui bénéficie d'environ 60 % des créances qui sont versées par l'État au titre du CIR. Les gains de productivité très importants dans l'industrie limitent toutefois les créations d'emplois industriels. Mais il faut souligner à nouveau ici qu'une part très importante des emplois de recherche créés (+ 33 000), environ 60 %, correspond à des emplois créés pour les besoins de l'industrie. Il conviendrait ainsi de considérer que ce sont plutôt + 43 000 emplois (23 000 + 0,6*33 000), soit environ 19 % des créations d'emplois totales, qui ont lieu dans l'industrie.

On remarquera de façon similaire que les industries créatives (l'Édition, de l'Audiovisuel, des Télécom et des Services informatiques) perdent environ – 8 000 emplois, alors qu'elles concentrent à elles

seules près de 13 % des gains de valeur ajoutée provoqués par le renforcement du CIR. Les gains de productivité réalisés par ces industries qui bénéficient d'environ 12,5 % des créances distribuées au titre du CIR, sont ainsi très importants et conduisent à des destructions d'emplois. Ce constat peut être amoindri si l'on considère qu'environ 4 000 créations d'emplois dans la recherche correspondent en fait à des emplois créés directement par les industries créatives.

Au niveau des autres secteurs, les créations d'emplois sont davantage des créations d'emplois « indirectes », liées au dynamisme de la demande intérieure et à l'amélioration du pouvoir d'achat des ménages, que des créations d'emplois liées directement aux activités de recherche et d'innovation ; elles sont par conséquent cette fois davantage en phase avec le regain d'activité dans les différents secteurs. Les autres services aux entreprises créent notamment + 51 000 emplois (22 % du total), la branche Commerce +35 500 (16 % du total), les Activités juridiques, comptables et de gestion +23 600 (10 % du total), les Autres services marchands + 22 000 (environ 10 % du total également), et la construction + 15 600 (7 % du total). Enfin si l'on met à part le secteur de la Santé (- 3 700 emplois) et les autres services publics (- 7 400 emploi), tous les autres secteurs de l'économie créent également des emplois.

7.2. L'influence à long terme des effets Phillips et des comportements de marge à l'exportation sur les impacts économiques du renforcement du CIR

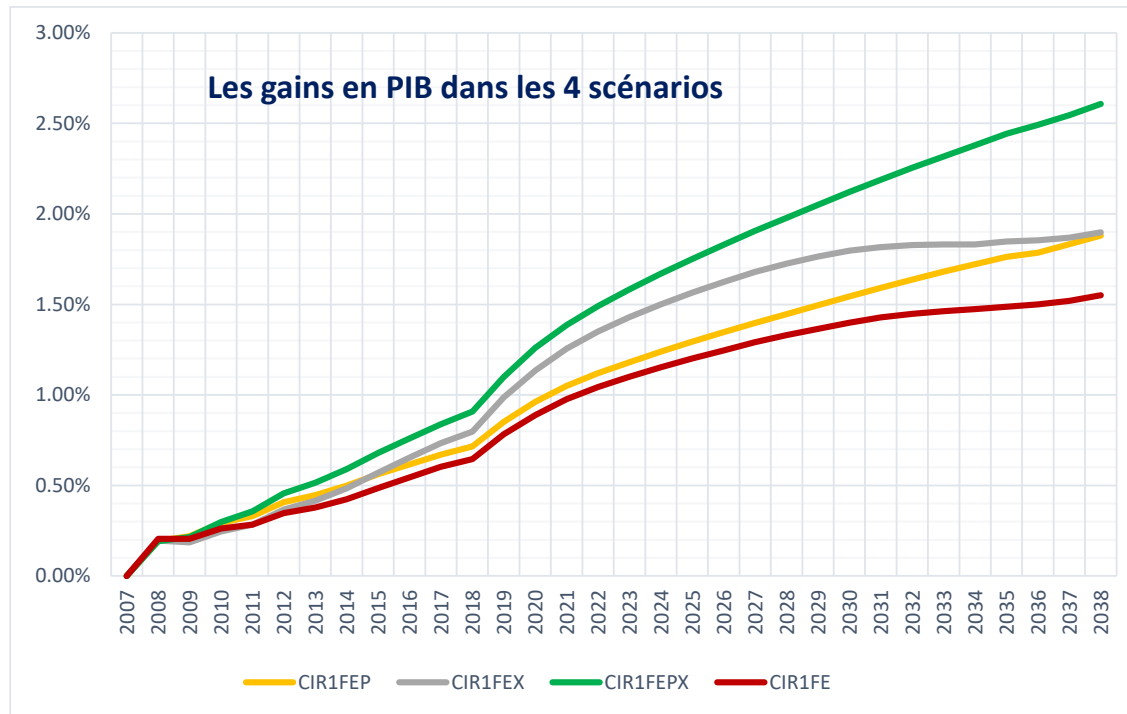
Comme nous l'avons vu plus haut à la section 3.2, l'apparition de tensions sur le marché du travail et l'existence d'un comportement de marge à l'exportation des entreprises peuvent influencer de façon importante les impacts du CIR sur l'activité économique et sur l'emploi. Les tensions sur le marché du travail vont induire des pressions inflationnistes qui vont réduire à terme les impacts positifs des innovations de procédé et de produit provoquées par le CIR. D'un autre côté la prise de marges par les entreprises, si elle n'est pas réinvestie, comme c'est le cas pour les scénarios analysés avec le modèle NEMESIS, va réduire le volume des exportations et ainsi les effets positifs du dispositif sur le solde extérieur, et finalement sur l'activité et l'emploi. Dans cette section nous analysons ces deux aspects plus en détail, en comparant ensemble les résultats des quatre scénarios qui retiennent un effet de levier de 1 du CIR sur les investissements en R&D des entreprises, mais qui diffèrent selon les hypothèses qu'ils retiennent sur les effets Phillips et les comportements de marge à l'exportation. Nous rappelons une fois encore que ces quatre scénarios sont respectivement :

1. le scénario central CIR1FR, avec les effets Phillips et les comportements de marge habituels du modèle NEMESIS ;
2. le scénario CIR1FEP **sans** effets Phillips et **avec** comportements de marge à l'exportation ;

3. le scénario CIR1FEX **avec** effets Phillips et **sans** comportements de marge à l'exportation ;
4. et le scénario CIR1FEPX **sans** effets Phillips et **sans** comportements de marge à l'exportation.

La Figure 12 qui présente pour commencer les résultats pour le PIB dans les quatre scénarios, permet de constater que la phase d'« essoufflement » qui se mettait en place autour de 2027-2030 dans le cas du scénario central CIR1FE, disparaît complètement dans le cas du scénario CIR1FEP, dans lequel les effets Phillips ont été supprimés. L'absence de tensions sur le marché du travail et de pressions inflationnistes permet ainsi aux innovations introduites par les entreprises d'avoir un impact bien plus important sur l'activité économique. Les gains annuels de PIB ne ralentissent plus après 2027-2030, et la phase d'« innovation » se prolonge jusqu'en fin de simulation en 2038. Les gains de PIB continuent ainsi à progresser de + 0,042 point par an après 2030, soit d'environ 1,3 milliard, alors qu'ils ne progressaient plus en moyenne que de + 0,019 points par an, soit à peu près 0,5 milliards, dans le cas du scénario précédent. L'« essoufflement » du potentiel de croissance provoqué par le CIR ne s'observe ainsi plus dans ce nouveau scénario où les tensions inflationnistes en provenance du marché du travail ont été supprimées.

Figure 12 : Les résultats pour le PIB dans les scénarios CIR1FE, CIR1FEP, CIRFEP et CIR1FEPX, en pourcentage d'écart au scénario central du modèle NEMESIS



Quand ce sont cette fois les comportements de marge à l'exportation des entreprises qui sont supprimés, comme dans le scénario CIR1FEX, les constats sont bien différents.

On observe notamment sur le graphique que si les courbes correspondant aux scénarios CIR1FEP et CIR1FEX se rejoignent en fin de simulation, indiquant toutes deux un écart de PIB d'environ + 1,88 % pour 2038, toutes les années précédentes jusqu'au début de la phase d'innovation en 2016, le gain de PIB est toujours supérieur dans le cas du scénario CIR1FEX. Sur l'ensemble de la période allant de 2016 à 2038, le gain de PIB annuel moyen est ainsi de + 1,51 % dans le cas du scénario CIR1FEX, contre seulement 1,34 % pour le scénario CIR1FEP, soit environ 13 % de plus.

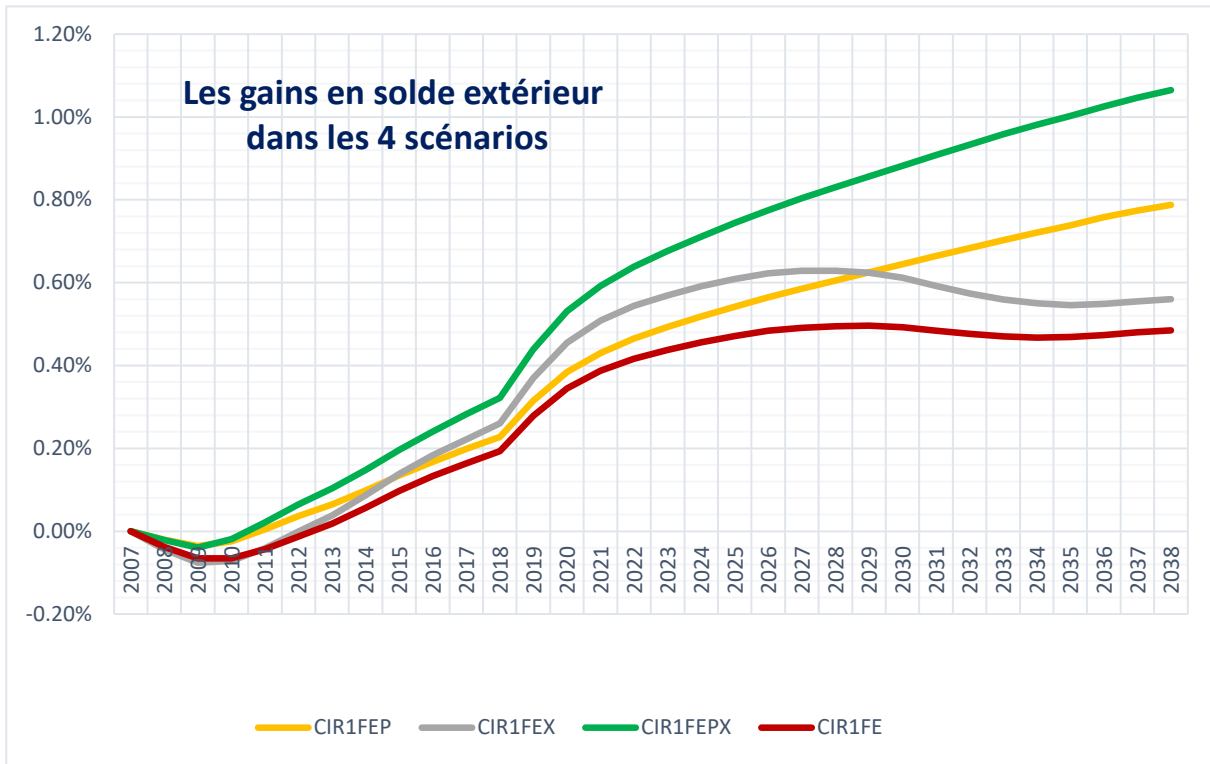
Par contre l'évolution de la courbe correspondant au scénario CIR1FEX indique que la suppression du comportement de marge à l'exportation ne permet pas d'éviter la phase d'« essoufflement » que l'on observait déjà dans le cas du scénario central CIR1FE. Sa suppression permet d'accroître de façon importante l'effet positif du CIR sur le solde extérieur (Cf. *infra*), mais à terme la persistance des tensions sur le marché du travail et des pressions inflationnistes vient réduire l'efficacité du dispositif, de façon similaire à ce qui se passe dans le cas du scénario central CIR1FE.

Enfin dans le cas du scénario CIR1FEPX, où l'on supprime à la fois les effets Phillips et les comportements de marge à l'exportation, on observe qu'au-delà de cumuler les avantages des scénarios CIR1FEP et CIR1FEX, cette combinaison des deux scénarios permet de les amplifier. Le gain de PIB culmine en fin de simulations à + 2,61 %, soit plus d'un point de plus (+ 1,06 exactement) que pour le scénario central CIR1FE, et environ + 0,7 point de plus que pour chacun des deux autres scénarios. Le gain annuel moyen de PIB entre 2016 et 2038 est cette fois de + 1,82 %, sans aucune tendance à la réduction de l'influence positive du dispositif du CIR sur le taux de croissance de l'économie à long terme, qui est de l'ordre de + 0,06 point par an.

Ainsi, selon les conditions macroéconomiques prévalant lors de l'application du dispositif et le comportement des agents économiques en termes de formation des salaires et des prix, les effets du CIR sur les gains annuels de PIB mesurés avec le modèle NEMESIS peuvent différer de plus de 50%, et l'impact mesuré du dispositif sur le taux de croissance de l'économie française à long terme peut lui-même varier d'un facteur 3.

La Figure 13 présente maintenant pour chaque scénario les impacts sur le solde extérieur. Les résultats sont exprimés en points de PIB et en écart au scénario de référence du modèle NEMESIS. Ils expriment ainsi la contribution du solde extérieur aux gains de PIB dans chacun des quatre scénarios étudiés

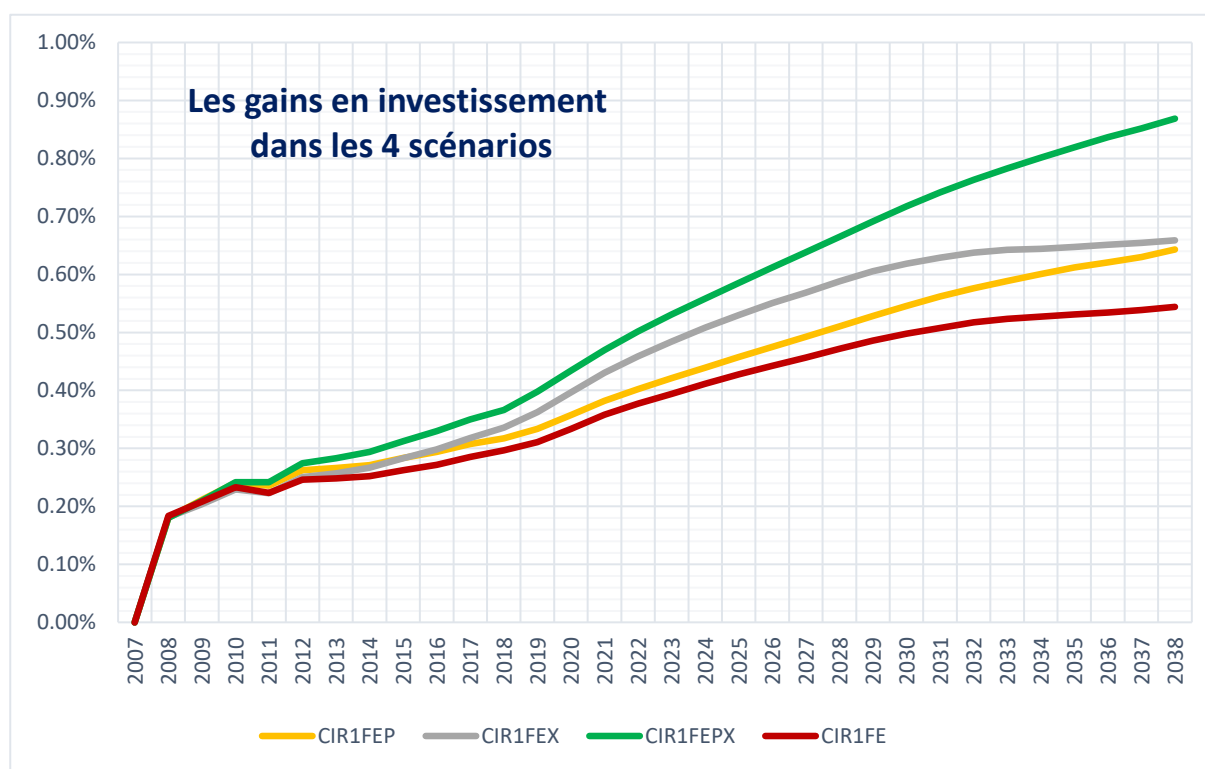
Figure 13 : Les résultats pour le solde extérieur dans les scénarios CIR1FE, CIR1FEP, CIRFEP et CIR1FEPX, en points de PIB et en écart au scénario central du modèle NEMESIS



Les courbes du graphique confirment que la capacité du dispositif du CIR à influencer durablement la croissance économique à long terme dépend principalement de la possibilité de contenir les tensions inflationnistes pour préserver la compétitivité extérieure des entreprises à long terme. Ainsi la suppression des comportements de marge à l'exportation dans le cas scénario CIR1FEX ne permet pas à elle seule de réduire les tensions inflationnistes et à la compétitivité extérieure de l'économie française de continuer à s'améliorer à long terme sous l'effet des innovations financées par la CIR. Dès 2028 l'amélioration du solde extérieur dans le scénario CIR1FEP, dans lesquels les effets Phillips sont supprimés, devient en effet supérieure à celle obtenue pour le scénario CIR1FEX, l'influence des comportements de marge sur la performance à l'exportation ne semblant que transitoire. Ce dernier commentaire doit toutefois être nuancé puisque l'évolution du solde extérieur dans le scénario CIR1FEPX combinant suppression des marges et des tensions inflationnistes surperforme largement les résultats obtenus pour tous les autres scénarios, que ce soit à court, moyen ou long terme. Le gain en solde extérieur en 2038 dans ce dernier scénario en est de + 1,06 point de PIB, soit plus de deux fois plus que dans le cas du scénario central CIR1FE, le moins favorable, avec seulement + 0,49 point de PIB.

Pour l'investissement, les gains relatifs entre les différents scénarios, présentés sur la Figure 14, reflètent assez fidèlement la hiérarchie des gains de PIB présentés plus hauts. Comme pour les gains de PIB, en fin de simulation les gains en investissement sont presque identiques pour les scénarios CIR1FEP et CIR1FEX, avec environ + 0,65 point de PIB, contre + 0,54 point dans le cas du scénario central CIR1FE et + 0,87 point dans le scénario CIR1FEPX, encore une fois le plus favorable.

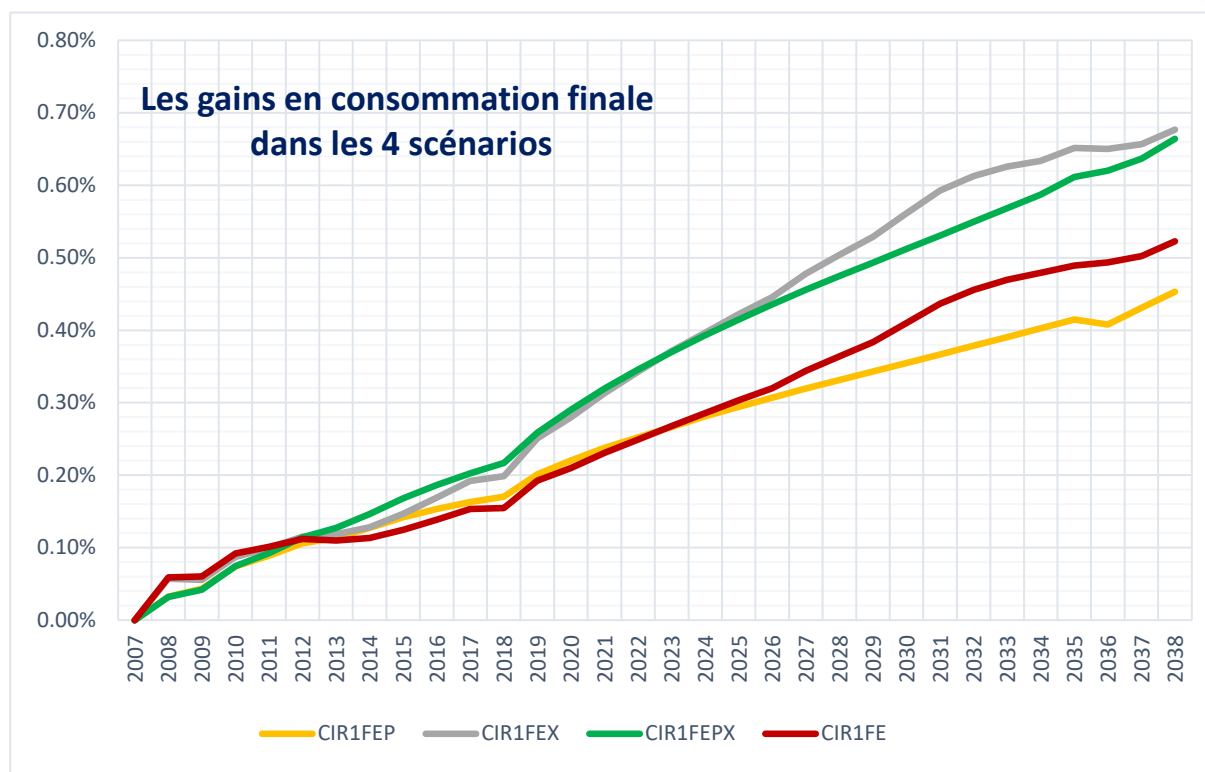
Figure 14 : Les résultats pour l'investissement dans les scénarios CIR1FE, CIR1FEP, CIRFEP et CIR1FEPX, en points de PIB et en écart au scénario central du modèle NEMESIS



Les résultats pour la consommation finale des ménages que nous livre la Figure 15 sont de prime abord plus surprenant. Jusqu'à vers 2026, avant que les pressions inflationnistes ne commencent à dégrader la compétitivité extérieure des entreprises, les gains de consommation sont relativement identiques dans les deux scénarios où l'on supprime les comportements de marge à l'exportation (CIR1FEX et CIR1FEPX), avec environ + 0,45 point de PIB à cette date. Le constat est similaire pour les deux scénarios où les comportements de marge à l'exportation sont maintenus (CIR1FE et CIR1FEP) mais avec des gains de consommation finale bien moins importants : environ + 0,31/+ 0,32 point de PIB en 2026. Ainsi jusqu'en 2026 la pression sur les salaires que traduisent les effets Phillips dans le modèle semble sans influence sur le niveau de la consommation finale. Les gains en consommation progressent par ailleurs relativement régulièrement au cours du temps dans tous les scénarios, même si après 2026 ils

augmentent plus vite dans les deux scénarios dans lesquels les effets Phillips sont maintenus (CIR1FE et CIR1FEX), par rapport à ceux où ils ne le sont pas (CIR1FEP et CIR1FEPX).

Figure 15 : Les résultats pour la consommation finale dans les scénarios CIR1FE, CIR1FEP, CIRFEP et CIR1FEPX, en points de PIB et en écart au scénario central du modèle NEMESIS



Contrairement aux résultats pour l'investissement, les gains de consommation finale semblent ainsi relativement décorrélés des gains de PIB, produisant une hiérarchie très différente entre les quatre scénarios.

Les gains de consommation finale semblent inversement corrélés à l'importance des marges à l'exportation, ce qui paraît surprenant en l'absence de lien direct entre ces marges et le prix des biens consommés par les ménages.

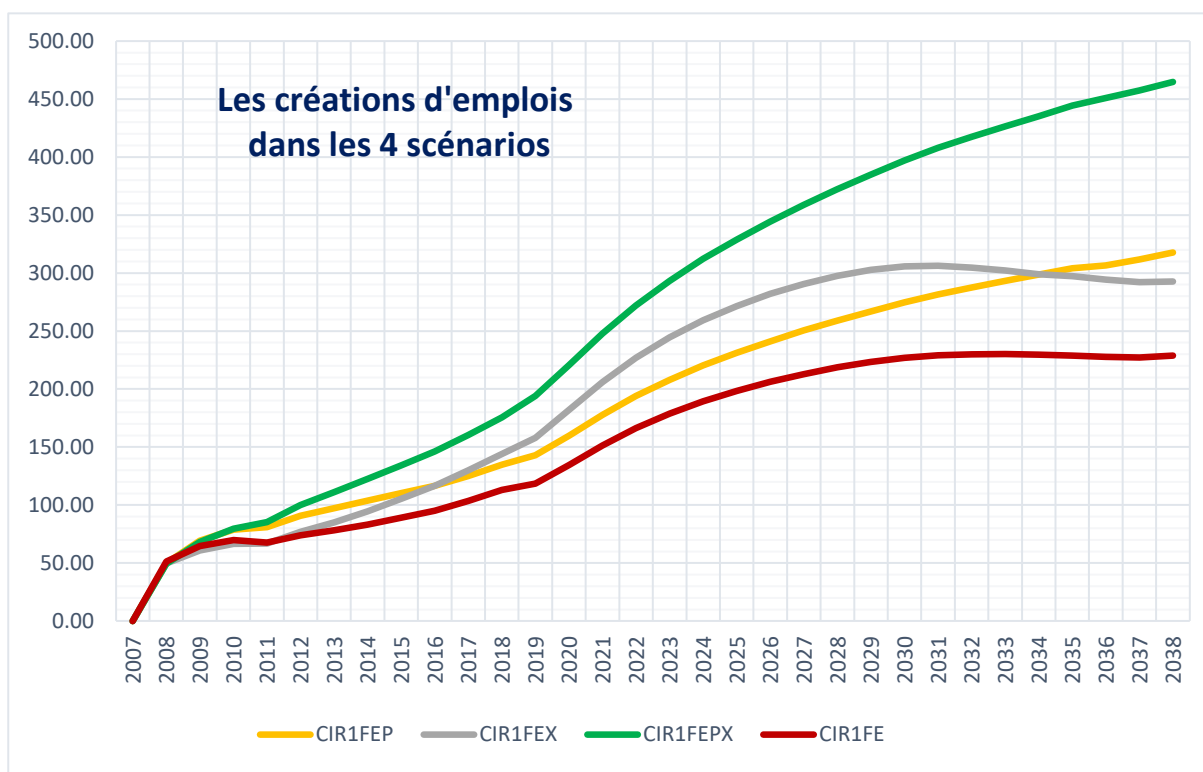
Mais cette relation inverse n'est qu'apparente. En effet, les deux scénarios où l'on supprime les comportements de marge à l'exportations (CIR1FEX et CIR1FEPX) sont également ceux où l'on obtient les gains de PIB les plus élevés, même si ceux-ci se réduisent fortement en fin de simulation dans le cas du scénario CIRFEX, sous l'effet des pressions inflationnistes.

Le changement de hiérarchie entre scénarios pour la consommation finale vient ainsi davantage de la suppression des effets Phillips qui réduit à terme mécaniquement la consommation finale puisque les salaires réels progressent moins, et que les pertes de pouvoir d'achat qui en résultent ne sont pas

intégralement compensées par des créations d'emplois, l'élasticité de l'emploi au salaire réel étant inférieure à 1 dans le modèle, et proche de 0,4 en moyenne. C'est ce qui explique qu'en 2026 la courbe jaune passe en dessous de la courbe rouge, et la courbe verte en dessous de la courbe grise.

En résumé, lorsque l'on compare les quatre scénarios, les gains de consommation finale sont d'autant plus élevés que les gains de PIB sont importants, et que les gains en termes de salaire réels sont également importants, c'est-à-dire lorsque les effets Phillips sont présents et que les salariés ont un pouvoir de négociation sur le niveau de leur salaire. Il existe ainsi une sorte d'arbitrage, à moyen-long terme, entre d'une part les gains en termes de consommation et de pouvoir d'achat, et d'autre part les gains en termes de créations d'emploi et de croissance économique.

Figure 16 : Les résultats pour l'emploi dans les scénarios CIR1FE, CIR1FEP, CIRFEP et CIR1FEPX, en milliers et en écart au scénario central du modèle NEMESIS



Enfin, au niveau des créations d'emplois dans les quatre scénarios, les résultats confirment leur fort lien avec les gains d'activité économique et de croissance à long terme. A partir de 2017 et jusqu'en 2038, les créations d'emplois sont ainsi toujours plus nombreuses dans les scénarios où les gains de PIB sont les plus importants. Il y a une légère exception avec le croisement des courbes grise (scénario CIR1FEX) et jaune (scénario CIR1FEP) en 2034, alors que pour le PIB la courbe grise reste légèrement au-dessus de la courbe jaune avant de la rejoindre en 2038. La raison est que dans le scénario CIR1FEX, pour un gain en PIB relativement similaire à celui du scénario CIR1FEP, le niveau des salaires réels est

plus élevé, ce qui suffit à faire passer la courbe des créations d'emploi en dessous de celle du scénario CIR1FEP.

Nous soulignerons enfin que selon le scénario, les créations d'emplois peuvent aller du simple au double, avec en 2038 + 229 000 emplois dans le cas du scénario CIR1FE contre + 465 000 dans le cas du scénario le plus favorable CIR1FEPX, et avec respectivement + 318 000 et + 293 000 dans le cas des scénarios CIR1FEP et CIR1FEX.

7.3. Résultats synthétiques et analyse coût-bénéfice des scénarios « CIR forever »

Nous présentons dans cette dernière section un tableau de synthèse des résultats comprenant une analyse coût-bénéfice des six scénarios de type « CIR forever » (Tableau 8), comme nous l'avons fait à la section 3.2 pour les six scénarios « CIR 2008-2016 ».

Tableau 8 : Les résultats de la seconde catégorie de scénarios - « CIR forever »

	CIR08FE		CIR1FE		CIR1FEP		CIR1FEX		CIR1FEPX		CIR12FE			
	Levier	Effet Phillips Marges à l'export	Levier	Effet Phillips Marges à l'export	Levier	Effet Phillips Marges à l'export	Levier	Effet Phillips Marges à l'export	Levier	Effet Phillips Marges à l'export	Levier	Effet Phillips Marges à l'export		
	0.8	oui	oui	1	oui	oui	1	non	oui	non	non	1.2	oui	oui
Impact annuel moyen sur les indicateurs macro-économiques entre 2008 et 2030 (en euros constants de 2014) <i>(Cumul des écarts au scénario de référence entre 2008 et 2030 divisé par le nombre d'années : 23)</i>														
PIB	15.2		19.4		21.2		24.4		27.8		23.2			
Investissement	6.4		8.1		8.7		9.5		10.5		9.7			
Consommation finale des ménages	3.8		5.1		4.9		6.7		6.6		6.1			
Exportations nettes	5.0		6.2		7.7		8.2		10.8		7.4			
Valeur ajoutée du secteur de la recherche	1.8		2.2		2.2		2.2		2.2		2.6			
Valeur ajoutée industrielle	5.4		6.7		7.4		8.1		9.2		8.1			
Impact annuel moyen sur l'emploi entre 2008 et 2030 (en milliers) <i>(Cumul des écarts au scénario de référence entre 2008 et 2030, divisé par le nombre d'années : 23)</i>														
Emploi total	108		135		160		175		216		163			
Emploi qualifié (> bac)	52		83		77		83		101		79			
Emploi non qualifié (<= bac)	56		92		84		92		115		84			
Emploi dans la recherche	24		30		30		30		30		36			
Emploi dans l'industrie	7.3		9.0		14.9		17.8		27.7		10.6			
Analyse coût-bénéfice du dispositif en 2030: Multiplicateur (M) et taux de rendement social net (TRS) <i>(M : Gain moyen de PIB par € de CIR versé ; TRS : Taux de rendement par € de CIR net de dépréciation)</i>														
Multiplicateur	3.6		4.6		5		5.7		6.5		5.5			
Taux de rendement	39.0%		54%		60.0%		70.50%		82.5%		67.5%			
Impact sur les finances publiques <i>(Impact annuel moyen entre 2008 et 2030, en points de PIB)</i>														
Recettes publiques	0.11		0.16		0.15		0.26		0.27		0.16			
Dépenses publiques	0.08		-0.01		0.01		0.00		0.02		0.04			
Solde budgétaire	0.03		0.17		0.14		0.26		0.25		0.13			

Au niveau du tableau, la seule différence avec le tableau de la section 3.2 (Tableau 7) est que tous les calculs sont cette fois réalisés sur la période 2008-2030, et non plus sur la période 2008-2020, puisque dans ces nouveaux scénarios le dispositif est supposé continuer « pour toujours ». Nous avons limité la période de calcul à l'année 2030 afin de retenir une date suffisamment proche pour se représenter les impacts, mais également suffisamment éloignée pour bien prendre en compte dans les calculs les effets à long terme du dispositif et mieux apprécier son taux de rendement social à long terme.

Par rapport aux résultats présentés à la section 3.2 pour les scénarios de type « CIR 2008-2016 » (Tableau 7), on constate principalement que tous les chiffres de ce nouveau tableau sont beaucoup plus élevés, confirmant l'intérêt des scénarios de type « forever » pour mieux apprécier les effets des politiques de recherche et d'innovation, dont les impacts mettent beaucoup de temps à se déployer.

Tableau 9 : Proportionnalité des résultats entre les scénarios de type « CIR forever » et ceux des scénarios « CIR 2008-2016 »

	CIR08FE/CIR08			CIR1FE/CIR1			CIR1FEP/CIR1P			CIR1FEX/CIR1X			CIR1FEPX/CIR1PX			CIR12FE/CIR12		
	Lever	Effet Phillips	Marges à l'export	Lever	Effet Phillips	Marges à l'export	Lever	Effet Phillips	Marges à l'export	Lever	Effet Phillips	Marges à l'export	Lever	Effet Phillips	Price maker	Lever	Effet Phillips	Marges à l'export
	0.8	oui	oui	1	oui	oui	1	non	oui	1	oui	non	1	non	non	1.2	oui	oui
Impact annuel moyen sur les indicateurs macro-économiques																		
PIB	2.55			2.58			2.43			2.71			2.57			2.60		
Investissement	2.07			2.04			2.01			2.19			2.17			2.07		
Consommation finale	2.67			2.86			2.47			3.02			2.65			2.88		
Exportations nettes	3.49			3.47			3.14			3.37			3.07			3.47		
Valeur ajoutée du secteur de la recherche	1.78			1.75			1.75			1.75			1.75			1.78		
Valeur ajoutée industrielle	3.15			3.14			2.92			3.12			2.91			3.14		
Impact annuel moyen sur l'emploi(en milliers)																		
Emploi total	2.24			2.21			2.07			2.34			2.22			2.24		
Emploi qualifié (> bac)	2.36			2.95			2.16			2.48			2.33			2.37		
Emploi non qualifié (<= bac)	2.13			2.76			2.00			2.23			2.13			2.13		
Emploi dans la recherche	1.54			1.52			1.52			1.52			1.52			1.54		
Emploi dans l'industrie	6.82			7.31			2.79			3.85			2.63			7.01		
Analyse coût-bénéfice du dispositif : Multiplicateur (M) et taux de rendement social net (TRSN)																		
Multiplicateur	1.57			1.59			1.47			1.63			1.55			1.57		
Taux de rendement	2.00			1.89			1.67			1.88			1.72			1.80		
Impact sur les finances publiques																		
Recettes publiques	1.38			1.59			1.58			1.88			1.87			1.38		
Dépenses publiques	1.89			-0.39			0.21			-0.05			0.36			6.58		
Solde budgétaire	0.74			2.19			2.60			2.45			2.79			1.12		

Le Tableau 9 qui indique la proportionnalité des résultats obtenus pour les deux types de scénarios montre ainsi que les gains annuels moyen de PIB provoqués par le dispositif sont 2,4 (CIR1FEP/CIR1FE) à 2,7 (CIR1FEX/CIR1X) fois plus élevés pour les scénarios de type « CIR forever » que pour les scénarios « CIR 2008-2016 ». Cette analyse de la proportionnalité des résultats montre aussi que dans les

scénarios de type « *forever* » les contributions du solde extérieur et de la valeur ajoutée industrielle aux gains de PIB sont plus élevées, puisque le coefficient de proportionnalité entre les deux types de scénarios est supérieur à 3 pour les exportations nettes (compris entre 3,1 pour CIR1FEXP/CIR1PX et 3,5 pour CIR08FE/CIR08, CIRFE/CIR et CIR12FE/CIR12) et proche de 3 pour la valeur ajoutée industrielle. Les scénarios de type « *forever* » prennent ainsi mieux en compte les effets à long terme des innovations financées par le CIR sur la compétitivité extérieure des entreprises françaises, avec une contribution beaucoup plus forte dans les calculs de la phase d' « innovation » qui ne décline pas après 2016, à la différence des scénarios « CIR 2008-2016 ».

Au niveau de la hiérarchie des différents scénarios en termes d'impact et d'analyse coût-bénéfice, il n'y a pas de différence notable avec celle que nous avons établie précédemment dans nos commentaires des résultats des scénarios « CIR 2008-2016 ». Plutôt que de nous répéter, nous nous contenterons ici d'illustrer certains chiffres clé du tableau de synthèse :

1. Le dispositif du CIR, s'il était maintenu après 2016 jusqu'en 2030, permettrait pour les seules créances liées au renforcement du dispositif après 2007, soit dans nos scénarios environ 4,2 milliards par an, de générer chaque année un gain de PIB compris entre + 15,2 milliards (CIR08FE) et + 27,7 milliards (CIRFEXP), soit près du simple au double selon les hypothèses plus ou moins favorables retenues dans les scénarios sur l'effet de levier du dispositif sur les investissements en R&D des entreprises bénéficiaires, l'importance des tensions sur le marché de travail, et les comportements en termes de formation des prix à l'exportation. En moyenne, même si ces proportions peuvent différer légèrement entre les scénarios, ces gains de PIB correspondent pour environ 41 % à des gains en investissement, pour 25 % à des gains de consommation finale des ménages et pour 34 % à des gains réalisés grâce à l'amélioration du solde extérieur. La contribution de l'investissement aux gains de PIB est d'autant plus forte que le CIR exerce un effet de levier direct sur les investissements en R&D des entreprises bénéficiaires compris entre 0,8 et 1,2, correspond à des investissements de R&D compris entre 3,4 milliards et 5 milliards chaque année. La contribution moyenne de la consommation finale aux gains de PIB, avec 25 %, apparaît relativement faible puisque la consommation des ménages représentait en 2019 de l'ordre de 54 % du PIB, soit plus du double. La contribution aux gains de PIB du solde extérieur, avec 34 %, ressort à l'opposé très élevée, et proche des taux d'importation et d'exportation de l'économie française en 2019. Ces résultats confirment le rôle moteur que joue le commerce extérieur dans toute la chaîne des effets positifs à attendre des politiques d'innovation, dont l'objectif essentiel reste le renforcement de la compétitivité extérieure du pays. Les principaux bénéficiaires du CIR, et les principaux exportateurs étant les entreprises des secteurs industriels, une part très importante des gains

de PIB profite ainsi directement à l'industrie, ainsi qu'aux activités de recherche industrielle qui lui sont rattachées. Ainsi en moyenne 34 % des gains de PIB correspondent directement à des gains de valeur ajoutée industrielle, et 10 % à des gains de valeur ajoutée dans le secteur de la recherche, alors que l'industrie ne représentait en 2019 que 11,4 % de la valeur ajoutée totale des entreprises, et la branche recherche seulement 1,9 %.

2. Pour l'emploi, le renforcement du dispositif du CIR après 2007 et son maintien jusqu'en 2030 aurait un impact annuel moyen entre 2008 et 2030 compris entre + 108 000 (CIR08FE) et + 216 000 (CIRFEPX), soit plus du simple au double selon le scénario retenu. Sur ces emplois, 48 % en moyenne sont des emplois qualifiés (niveau d'éducation supérieur au bac) et 52 % des emplois peu qualifiés (niveau d'éducation inférieur ou égal au bac). Environ 19 % du total des emplois sont créés directement dans les activités de R&D, et près de 9 % dans l'industrie. La part des créations d'emplois dans l'industrie est relativement faible en raison des gains de productivité très élevés que provoquent les investissements en R&D dans les entreprises du secteur industriel. On peut toutefois ajouter à ces 9 % d'emplois industriels environ 6 % correspondant aux besoins d'emplois de recherche du secteur industriel, portant les créations d'emplois industriels à 15 % du total, alors que l'emploi industriel (en incluant les emplois dans la recherche financés par les entreprises) ne représentait que 10 % l'ensemble des emplois en 2019.
3. Au niveau de l'analyse coût bénéfice, le multiplicateur, c'est-à-dire le gain moyen de PIB par euro de créances versées par l'État au cours de la période 2008-2030 au titre du renforcement du CIR, est compris d'après les résultats du Tableau 8 entre 3,6 (CIR08FE) et 6,5 (CIRFEPX), avec un multiplicateur moyen, calculé sur l'ensemble des scénarios d'environ 5,3. A ces multiplicateurs sont associés des taux de rendements sociaux nets du renforcement du dispositif du CIR compris entre 39 % et 82,5 %, et un taux de rendement moyen de 64 %. Ainsi d'après les chiffres du Tableau 8, on peut estimer que la valeur du multiplicateur pour ces six scénarios est en moyenne 1,6 fois plus élevée que pour les scénarios « CIR 2008-2016 » de la section 3. Les taux de rendements sociaux calculés ont eux une valeur moyenne environ 1,9 fois plus élevée que pour la moyenne des scénarios précédents. Par rapport aux scénarios précédents, les valeurs moyennes du multiplicateur et du taux de rendement social sont ainsi plus proches de celles admises dans la littérature économétrique sur la R&D, comprises respectivement entre 4,3 et 7,7, et entre 50% et 100%. Ces derniers résultats confirment encore l'intérêt des scénarios de type « forever » pour mieux évaluer les impacts des politiques de recherche et d'innovation à long terme.
4. Enfin, alors que sur l'ensemble de la période 2008-2030 le dispositif du CIR aurait *ex-ante* un coût budgétaire pour l'État de l'ordre de + 0,18 point de PIB par an s'il était maintenu, nous

voyons sur le Tableau 8 qu'*ex-post*, c'est-à-dire en prenant en compte ses effets indirects positifs sur les recettes publiques, et négatifs sur les dépenses publiques, qu'il aurait un effet ou bien neutre (scénario CIR08FE) ou bien positif jusqu'à hauteur de + 0,26 point de PIB (scénario CIR1FEX) sur le solde budgétaire de l'État, avec un effet moyen entre les six scénarios de l'ordre de + 0,18 point de PIB.

L'ensemble de ces résultats souligne ainsi que les politiques de recherche et d'innovation comme le CIR ont des effets induits positifs qui profitent à l'ensemble des acteurs économiques : les entreprises, les ménages, mais également l'État.

8. Premiers éléments d'analyse du coût d'opportunité du renforcement du CIR en 2008 : le cas d'une diminution du taux d'imposition sur les sociétés (IS)

Cette section propose maintenant une illustration de la méthodologie qui peut être utilisée pour analyser avec le modèle NEMESIS le coût d'opportunité du renforcement du dispositif du CIR en 2008, par rapport à une utilisation alternative des fonds publics. Nous avons choisi pour cette illustration le cas d'une baisse du taux d'imposition sur les sociétés⁴¹ équivalente au coût pour l'État du renforcement du CIR, soit environ 0,18 point de PIB à partir de 2010 et un peu moins les deux années précédentes, correspondant à une baisse à terme du taux d'IS d'environ 2,9 points, soit un passage de 33,33 % à 30,43%.

Comme pour le cas du CIR, le principal impact à attendre d'une baisse d'IS doit passer par son effet de levier sur l'investissement des entreprises⁴². Or, pour l'IS, dont la baisse programmée de 33,3 % à 25 % a commencé seulement en 2018, il n'existe pas encore d'analyse d'impact approfondie sur l'investissement des entreprises, comme par exemple les études microéconomiques de Lopez et Mairesse (2018, *ibid*) Mulkay et Mairesse (2018, *ibid*) sur l'impact du renforcement du CIR sur l'investissement en R&D des entreprises. Au niveau macroéconomique, nous y reviendrons, il existe

⁴¹Ce choix nous est apparu « naturel » dans la mesure où le CIR représente lui-même une diminution de l'impôt payé sur les sociétés, tout comme le dispositif de CICE avant sa transformation en 2019 en un allègement de cotisations patronales. Mais le cas de la baisse des impôts de production représente un « candidat » tout aussi valable.

⁴²Il faut souligner que les dépenses de R&D des entreprises sont également des investissements, et qu'une baisse de l'IS, pour autant qu'elle renforce l'investissement des entreprises, aura également un impact positif sur leur effort de recherche. Une baisse d'IS impactera également les investissements en TIC, en logiciels et dans d'autres actifs qui leurs sont complémentaires, comme les dépenses de formation, même si celles-ci ne sont pas comptabilisées comme des investissements dans les comptes nationaux. Or, en plus de la R&D, tous ces actifs ont, dans le modèle NEMESIS, un impact sur l'innovation des entreprises et sur le taux de croissance à long terme de l'économie.

également très peu d'études sur les impacts indirects sur l'activité et sur l'emploi d'une baisse d'IS, par exemple comme celle réalisée dans cette étude pour le CIR avec le modèle NEMESIS.

Avant de présenter les résultats de cette analyse de coût d'opportunité, nous commencerons ainsi par rappeler comment une baisse d'IS modifie analytiquement le coût d'usage du capital et la décision d'investissement des entreprises, puis comment une baisse d'IS impacte l'investissement, le PIB et l'emploi d'après le modèle NEMESIS, en fonction des choix méthodologiques qui sont retenus.

8.1. Comment une baisse d'IS modifie le coût d'usage du capital et l'investissement des entreprises

Du point de vue méthodologique, à défaut d'études disponibles, la principale difficulté a ainsi consisté à essayer de chiffrer l'effet de levier d'une baisse d'IS sur la décision d'investissement des entreprises, ce qui nécessite préalablement de déterminer comment le coût d'usage du capital est modifié par une baisse d'IS. Deux approches théoriques peuvent être utilisées pour cela :

Dans l'approche « traditionnelle » retenue dans NEMESIS et dans la plupart des autres modèles macro-économiques, l'expression du coût d'usage du capital à une date t , C_t^K , ressort de la maximisation intertemporelle du résultat net de l'entreprise. Nous avons dans ce cas :

$$(58) C_t^K = P_t^I \cdot \frac{(1-\tau_t^I)}{(1-\tau_t^P)} \cdot \left[1 - \frac{(1-\tau_{t+1}^I) \cdot (1+\widehat{P_{t+1}^I}) \cdot (1-\delta_t) \cdot (1-\tau_{t+1}^B)}{(1-\tau_t^I) \cdot (1+r_{t+1}) \cdot (1-\tau_t^B)} \right]$$

D'après cette formulation du coût d'usage du capital, celui-ci est à court terme une fonction :

1. Croissante du niveau du prix d'investissement (P_t^I)
2. Décroissante de la croissance anticipée du prix de l'investissement ($\widehat{P_{t+1}^I}$)
3. Croissante du taux d'intérêt anticipé (r_{t+1})
4. Croissante du taux des impôts nets de production (τ_t^P)
5. Décroissante du taux de subvention à l'investissement courant (τ_t^I)
6. Croissante du taux de déclassement du capital (δ_t) : 8 %
7. Croissante à une variation à la hausse du taux d'imposition sur les sociétés et/ou du taux de subvention à l'investissement entre t et $t+1$, à travers les termes $\frac{(1-\tau_{t+1}^B)}{(1-\tau_t^B)}$ et $\frac{(1-\tau_{t+1}^I)}{(1-\tau_t^I)}$ respectivement.

L'effet d'une baisse de l'impôt sur les sociétés, par exemple de 33 % à 25 % en une fois, n'a ainsi qu'un effet transitoire, entre t et $t+1$, sur le coût d'usage du capital.

En effet, si l'on raisonne maintenant à fiscalité inchangée, avec $x_t = x_{t-1} = x_0$, $x = \tau^B, \tau^P, \tau^I$ l'expression du coût d'usage du capital devient :

$$(59) C_t^K = P_t^I \cdot \frac{(1-\tau_t^I)}{(1-\tau_t^P)} \cdot \left(\delta_t + r_t - \widehat{P_t^I} \right),$$

M $C1$

Ainsi à long terme, seuls les impôts de production et le taux de subvention à l'investissement ont une influence sur le coût d'usage du capital.

Dans ce cas, la solution qui peut être retenue dans les modèles pour traduire l'impact d'un changement du taux d'IS sur le coût d'usage du capital à long terme, consiste à assimiler la baisse d'IS à une augmentation du taux de subvention à l'investissement. Pour faire un parallèle avec l'impact du CIR sur le coût d'usage de la R&D à long terme dans l'étude de Lopez et Mairesse (*ibid*), les auteurs le définissent comme suit :

$$(60) C = P^{RD} \cdot (\delta + r - \pi) \cdot (1 - \gamma)$$

Avec :

C , le coût d'usage de la R&D

δ , le taux de déclassement de la R&D : 15 %

r , le taux d'intérêt nominal : 3 %

π , le taux d'inflation (non précisé)

et γ , l'« impact » du CIR mesuré comme le montant des crédits d'impôts reçus sur les montant d'investissements en R&D déclarés par les entreprises pour 2012 :

$$\gamma = \frac{\text{Crédits d'impôts}}{\text{Investissements en R\&D}} = 24,2 \%$$

Les auteurs utilisent pour évaluer l'impact du crédit d'impôts recherche sur le coût d'usage de la R&D un modèle analogue à celui qui vient d'être présenté dans le cas du capital physique, où l'effet du CIR sur le coût d'usage du capital s'apparente effectivement à l'effet d'une subvention à l'investissement, puisque le CIR est bien assimilable à une subvention à l'investissement en R&D.

Dans une approche « élaborée » le coût d'usage ressort d'un programme intertemporel de maximisation de la valeur de l'entreprise, c'est-à-dire des dividendes, faisant cette fois intervenir les influences (1) de l'effet de levier du financement de l'investissement par endettement et (2) de l'amortissement fiscal du capital, sur le taux de rendement net du capital (Voir Teurlai et Chapelain 2002, desquels notre exemple est adapté). L'expression du coût d'usage du capital est cette fois :

$$(61) C_t^K = P_t^I \cdot \frac{(1-\tau_t^I)}{(1-\tau_t^B) \cdot (1-\tau_t^P)} \cdot [1 - c_1 - c_2 - c_3]$$

avec :

$$c_1 = \frac{(1 - \tau_{t+1}^I) \cdot (1 + \widehat{P_{t+1}^I}) \cdot (1 - \delta_t)}{(1 - \tau_t^I) \cdot (1 + r_t)}$$

$$c_2 = [r_t - (1 - \tau_{t+1}^B) \cdot i_t] \cdot \frac{B_t}{(1 - \tau_t^I) \cdot P_t^I \cdot K_t}$$

$$c_3 = \frac{\delta_t \cdot \tau_{t+1}^B}{(1 - \tau_t^I)}$$

La première composante du coût d'usage du capital :

$$P_t^I \cdot \frac{(1 - \tau_t^I)}{(1 - \tau_t^B) \cdot (1 - \tau_t^P)} \cdot [1 - c_1]$$

Elle est similaire à celle du modèle précédent, avec cette différence principale que le taux d'imposition sur les sociétés, à gauche au dénominateur, a cette fois un effet permanent, à la hausse, sur le coût d'usage du capital.

Le terme c_2 réduit le coût d'usage « dans la limite fixée par le coût du crédit » (le coût marginal de la dette, i_t , étant une fonction croissante du taux d'endettement, $\frac{B_t}{P_t^I \cdot K_t}$). À travers cette expression, une hausse du taux d'imposition sur les sociétés réduit toutes choses égales par ailleurs le coût d'usage en accroissant les avantages pour les actionnaires du recours à l'endettement.

Le troisième terme, c_3 , « prend en compte les réductions du coût du capital liées à la dépréciation (fiscale) de ce dernier ». Ces réductions de coût augmentent également avec le taux d'imposition sur les sociétés.

L'expression du coût d'usage à fiscalité inchangée est cette fois :

$$(62) C_t^K = P_t^I \cdot \frac{(1 - \tau_0^I)}{(1 - \tau_0^B) \cdot (1 - \tau_0^P)} \cdot \left[1 - \frac{(1 + P_{t+1}^I) \cdot (1 - \delta_t)}{(1 + r_t)} - [r_t - (1 - \tau_0^B) \cdot i_t] \cdot \frac{B_t}{(1 - \tau_0^I) \cdot P_t^I \cdot K_t} - \frac{\delta_t \cdot \tau_0^B}{(1 - \tau_0^I)} \right]$$

où le taux d'imposition sur les sociétés a bien un effet permanent sur le coût d'usage du capital, dont il reste à déterminer l'ampleur.

On a par exemple chiffré sur les données de comptabilité nationale pour 2019 que la baisse du coût d'usage du capital qui résulterait d'une baisse de l'IS de 33 % 1/3 à 25 % (soit environ 0,5 point de PIB) est de -8,36 %. La baisse du coût du capital pour une réduction de l'IS de 0,18 point de PIB (l'IS passe à 30,1 %), soit le montant annuel du CIR, serait, elle de - 2,9 %, soit 2,2 fois supérieure à celle qui résulterait du modèle précédent en assimilant la baisse d'IS à une subvention à l'investissement : - 1,3 %.

On peut cette fois faire un parallèle avec l'expression du coût d'usage de la R&D utilisée dans l'étude de Mulkay et Mairesse (*ibid*) qui, par rapport à l'étude précédente de Lopez et Mairesse (*ibid*), prend en compte de façon plus précise la manière dont l'entreprise finance sa R&D (endettement ou autofinancement), et les paramètres fiscaux tels que l'impôt sur les sociétés, la déductibilité fiscale des dépenses de R&D, les subventions à la R&D reçues, et finalement le crédit d'impôt recherche. Faute

de données suffisantes, les auteurs ne retiennent finalement du coût d'usage de la R&D que les éléments du coût de base $[1 - c_1]$ ci-dessus.

On a finalement :

$$(63) C = P^{RD} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{1 - \tau_0^B}\right) \cdot (\delta + r - \pi)$$

L'effet du CIR sur le coût d'usage de la R&D est cette fois : $-\frac{\gamma}{1 - \tau_0^B}$

Avec un taux d'imposition sur les sociétés de 33 % l'effet du CIR sur le coût de la R&D est cette fois de -45 %. Il ne serait que de -40% avec un taux d'IS à 25 %.

Avec ce nouveau modèle, l'impact du CIR sur le coût d'usage de la R&D est cette fois environ 2 fois supérieur à ce qui ressort du modèle précédent.

L'effet de levier d'une baisse d'IS sur l'investissement des entreprises s'obtient finalement en multipliant la variation, en pourcentage, du coût d'usage provoqué par la baisse d'IS, par l'élasticité prix de la demande d'investissement. Cette élasticité étant proche de -0,35 dans NEMESIS en moyenne, une baisse du taux d'IS de 0,18 point de PIB, soit le montant du renforcement du CIR, aurait à long terme un effet de levier de seulement 0,45 (1 euro de baisse d'IS augmente l'investissement de 45 centimes) contre un levier d'environ 1 avec le second modèle, soit le levier maximum à court terme et à endettement constant, pour que la baisse d'IS ne se traduise pas par une diminution des dividendes et de la valeur de l'entreprise.

Pour reprendre le parallèle avec le CIR, les deux études citées trouvent un effet de levier du CIR sur l'investissement en R&D des entreprises relativement similaires, impliquant que l'élasticité prix de la R&D à son coût d'usage qui est estimée dans l'étude de Mulkay et Mairesse (*ibid*), est environ deux fois plus faible que celle qui est estimée dans l'étude précédente de Lopez et Mairesse (*ibid*).

8.2. Comment une baisse d'IS impacte l'investissement, le PIB et l'emploi dans le modèle NEMESIS

Avec les chiffrages précédents, on peut maintenant examiner comment une baisse d'IS calibrée à 0,18 point de PIB, influence l'investissement, le PIB et l'emploi d'après le modèle NEMESIS.

Nous n'avons retenu pour cela que le cas 1, dans lequel on assimile la baisse de l'IS à une augmentation équivalente du taux de subvention à l'investissement des entreprises. Au niveau sectoriel, le choc sur le coût d'usage capital qui en résulte, de -1,3 % en moyenne, a été proportionné en fonction du taux de marge brut de chaque secteur. Notons que dans le modèle NEMESIS, d'après la méthodologie utilisée, la baisse de l'IS se traduit *ex-ante* mécaniquement en une baisse équivalente du coût unitaire de production des entreprises, et par conséquent de leur prix de vente. Cette mise en œuvre est optimiste sur les effets d'une diminution de l'IS, car ce qui n'est pas investi, soit avec un effet de levier de 0,45, 0,55 centimes pour chaque euro de baisse d'IS, va se retrouver en diminution des prix de

vente. L'effet final sur les prix dépendra des substitutions factorielles, principalement de la substitution du capital au travail que va induire la diminution du son coût d'usage du capital.

Le cas 2, dans lequel la baisse du coût d'usage résulte de la maximisation de la valeur de l'entreprise, n'a pas été considéré pour deux raisons principales :

1. Tout d'abord, l'expression analytique de ce coût d'usage n'est pas celle qui est traditionnellement utilisée pour estimer l'élasticité prix de la demande de capital à son coût d'usage. Il serait ainsi nécessaire réestimer cette élasticité dont la valeur, d'après le parallèle que nous avons fait ci-dessus avec les études sur le coût d'usage de la R&D, pourrait être très inférieure à celle qui figure actuellement dans le modèle.
2. Dans ce cas 2, la baisse du coût d'usage perçue par l'entreprise est 2,2 fois supérieure au « gain » monétaire direct que représente la diminution du taux d'IS, ce qui pose un problème conceptuel, notamment sur la proportion de cette baisse de coût qui doit se traduire à terme en diminution du coût unitaire de production et donc du prix de vente.

Les résultats pour le cas 1 sont présentés dans le Tableau 10 où figurent également les évaluations qu'avaient fait en 2017 et en 2018 l'OFCE⁴³ et REXECODE⁴⁴ de l'impact de la baisse programmée de 33 % 1/3 à 25 % de l'IS sur 5 ans, que nous avons recalibrée à 0,18 point de PIB (2,9 points d'IS) pour permettre la comparaison avec les résultats de NEMESIS.

Tableau 10 : Effet d'une baisse d'IS de 0,18 point de PIB après 4 ans (en %)

	INVESTISSEMENT	PIB	EMPLOI
Modèle OFCE	-	0.14	-
NEMESIS - cas 1	0.61	0.25	0.11
REXECODE	0.6	0.3	0.12

Nous voyons qu'avec ce cas 1, où l'on assimile la baisse d'IS à une subvention à l'investissement et que l'effet de levier utilisé est de 0,45, le modèle NEMESIS trouve pour le PIB, avec +0,25 %, un impact intermédiaire entre celui estimé par l'OFCE, +0,14 %, et REXECODE, avec +0,3 %. Pour l'investissement⁴⁵ et l'emploi, les résultats de NEMESIS sont très proches de ceux de REXECODE, ce qui laisserait supposer que REXECODE a ainsi assimilé dans son étude la baisse d'IS à une augmentation équivalente des subventions à l'investissement, avec également un impact à la baisse sur le prix de vente des entreprises pour la partie de la baisse d'IS qui n'est pas réinvestie. Toutefois, REXECODE n'utilise pas de modèle, et on ne dispose pas d'information sur la façon dont ces chiffres ont été

⁴³OFCE, *policy brief* n° 38, 16 octobre 2018.

⁴⁴ COE-REXECODE, document de travail n° 62, mars 2017.

⁴⁵Il s'agit de l'investissement total de l'économie, et non pas du seul investissement des entreprises.

obtenus. Les possibilités de comparaison avec l'OFCE sont également limitées. Le chiffre pour le PIB doit avoir été obtenu avec le modèle *e-mod*, mais on ne sait pas à l'appui de quelles hypothèses, notamment sur l'effet de levier, les impacts de la baisse d'IS sur ce dernier et sur l'emploi n'étant pas renseignés. On a toutefois pu vérifier que l'on obtiendrait avec NEMESIS un résultat proche de l'OFCE pour le PIB, si la part de la baisse d'IS qui n'est pas réinvestie ne vient pas à terme diminuer le prix de vente des produits.

Tableau 11 : Comparaison IS/CIR pour 0,18 point de PIB après 30 ans (en %)

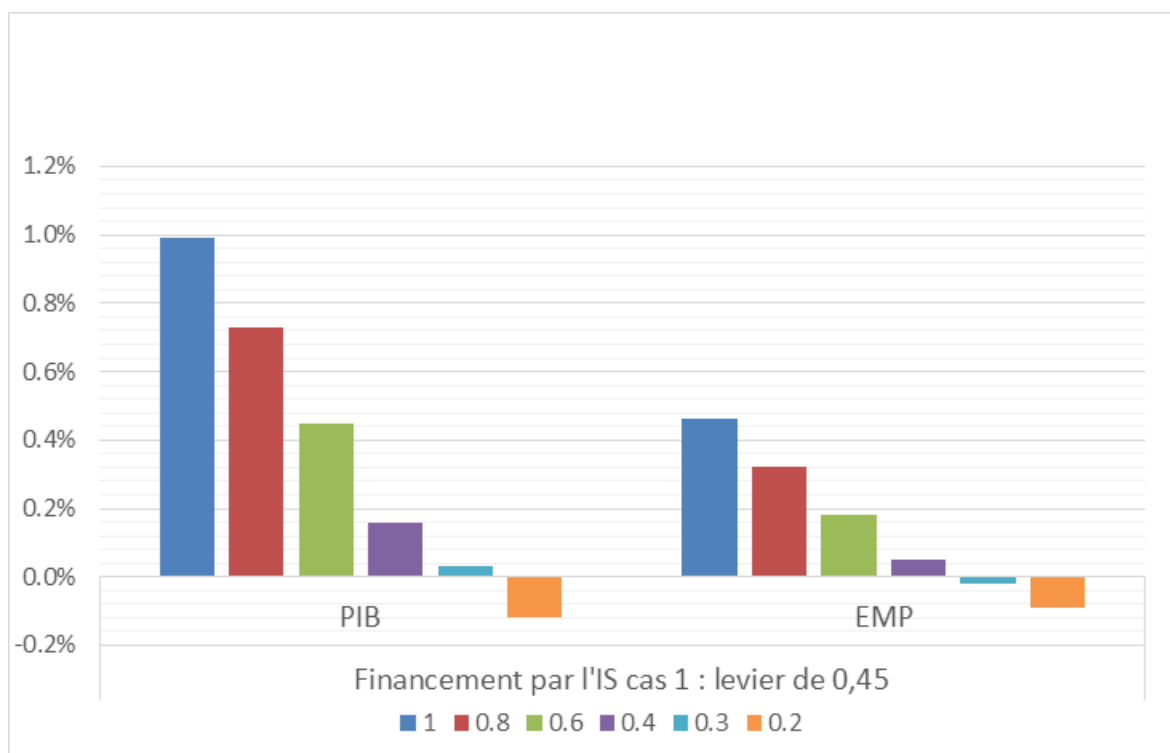
	PIB	EMPLOI
IS - cas 1 levier de 0,45	0.41	0.23
CIR levier de 1	1.55	0.74

Si l'on compare cette fois les effets, après 30 ans, d'une baisse de l'IS de 0,18 point de PIB avec ceux du renforcement du CIR pour le même montant, nous obtenons une augmentation du PIB de 0,41 % dans le cas de l'IS, contre 1,55 % dans le cas du CIR, soit des effets environ 3,78 fois supérieur pour le PIB dans le cas du CIR par rapport à l'IS, et 3,22 fois supérieurs pour l'emploi (+0,74 % contre seulement +0,23 %). Il faut enfin souligner que la baisse d'IS a un impact positif sur l'investissement en R&D, en TIC et en logiciels des entreprises, représentant environ ¼ de l'impact total qui est mesuré pour la baisse de l'IS sur la FBCF de l'entreprises. Or ces investissements, à la différence des autres investissements en matériel et en infrastructures, ont pour effet dans le modèle d'améliorer la capacité d'innovation des entreprises. Comme nous l'avons vérifié, cela revient à augmenter d'environ 25 % les résultats pour le PIB, et de 10 % les résultats pour l'emploi, par rapport à un modèle où les impacts des investissements sur la capacité d'innovation des entreprises ne sont pas pris en compte.

8.3. Quel coût d'opportunité du CIR par rapport à une baisse d'IS ?

Nous avons vu avec ce qui précède que l'analyse du coût d'opportunité du renforcement du CIR par rapport à une diminution du même montant de l'impôt sur les sociétés nous ramène à la problématique de l'effet de levier. Pour illustrer davantage ce point, nous avons simulé les impacts qu'aurait le renforcement du CIR sur l'investissement, le PIB et l'emploi, s'il était financé cette fois par une augmentation équivalente de l'IS. Les résultats de simulation, présentés sur la Figure 17, sont fournis pour différentes hypothèses sur l'effet de levier du CIR sur l'investissement en R&D des entreprises, avec des valeurs comprises entre 0,2 et 1.

Figure 17 : Coût d'opportunité du CIR par rapport à l'IS en fonction de l'effet de levier analysé en t+30



Nous voyons sur la figure, toujours avec l'hypothèse d'un effet de levier de 0,45 de l'IS sur l'investissement des entreprises (cas 1), que le CIR a un impact supérieur à l'IS sur le PIB à long terme (ici mesuré en t + 30), tant que l'effet de levier du CIR sur l'investissement en R&D des entreprises est lui-même supérieur à 0,3, puisque dans ce cas l'effet combiné d'un renforcement du CIR financé par une augmentation du même montant de l'IS est positif. Pour l'emploi, ce seuil est plus proche de 0,4 en raison de l'impact très fort, à long terme, qu'ont les investissements dans la recherche sur la productivité du travail, par rapport à l'effet direct qu'exerce la modification du taux d'IS sur la substitution du capital au travail.

Les résultats de cette étude préliminaires sur le coût d'opportunité du renforcement du CIR par rapport à la mise en place d'une politique alternative, confirment encore une fois que l'effet de levier est un déterminant très fort de l'efficacité du CIR. Mais à défaut d'études dédiées à ce sujet, l'incertitude sur l'effet de levier d'une baisse d'IS sur l'investissement des entreprises est encore plus forte. Ces incertitudes sur l'effet de levier, et la méthodologie précise à utiliser pour effectuer la comparaison des deux dispositifs, ne nous permettent ainsi pas de trancher de façon définitive sur la supériorité du CIR par rapport à une baisse comparable de l'IS, les résultats partiels présentés ici⁴⁶ n'étant proposés

⁴⁶Une analyse plus poussée devrait inclure celle de davantage d'indicateurs, comme les impacts relatifs des deux dispositifs mis en concurrence sur les finances publiques, et examiner l'intégrale de leurs effets respectifs, ou de leur combinaison, dans le temps, et non pas seulement, comme ici, en un point du temps (t +30, i.e. 2038).

qu'en vue d'illustrer comment le modèle NEMESIS peut être utilisé pour analyser le coût d'opportunité d'un dispositif fiscal, ou de toute autre politique.

9. Conclusion

Cette évaluation économique des effets du renforcement du CIR avait pour objectif de répondre aux questions suivantes : Quelle est la valeur créée et donc le taux de rendement pour la collectivité et les pouvoirs publics des fonds investis dans le dispositif ? Combien d'emplois le CIR a-t-il permis de créer dans la recherche et dans les autres activités économiques ? Comment le CIR a-t-il renforcé la compétitivité des entreprises françaises et contribué à améliorer le solde extérieur de la France ?

Pour répondre à ces questions, deux séries de scénarios ont été simulés avec le modèle NEMESIS. Tout d'abord des scénarios de type « *one-shot* », dans lesquels il n'a été retenu que les dépenses fiscales réalisées entre 2008, l'année où le dispositif a été renforcé, et 2016, la dernière année pour laquelle nous disposons de données au moment de réaliser l'étude. Ensuite des scénarios de type « *forever* », dans lesquels, au contraire, le dispositif est maintenu « pour toujours » après 2016, avec un montant annuel de crédits d'impôts rapporté au PIB supposé égal au ratio moyen calculé entre 2012 et 2016, soit 0,28 point de PIB et 0,18 point pour le seul renforcement du dispositif.

On peut dire que l'ensemble des résultats présentés est la résultante d'une dynamique sectorielle fondée sur les mécanismes de la nouvelle croissance endogène, dynamique qui est confrontée à de multiples interactions et un retour « macroéconomique ».

Un premier résultat important de l'étude est que les deux types de scénarios apportent des évaluations à la fois différentes et complémentaires des impacts économiques du dispositif. Le premier type de scénarios va voir l'ensemble de ses effets, c'est-à-dire, les phases d'investissement, d'innovation et d'obsolescence se dérouler pratiquement totalement sur la période 2007-2030 avec un retour à l'état initial ; c'est un scénario d'accroissement des connaissances transitoire. Au contraire, le second type de scénarios dans lequel le maintien du dispositif permet un accroissement durable de l'intensité de R&D, permet éventuellement de modifier « *ex-ante* », c'est-à-dire avant les effets de rééquilibrage macro-économiques, au niveau de chaque secteur de production, le taux de croissance de long terme, conformément aux nouvelles théories de la croissance endogène : il s'agit là de l'accroissement des capacités de captation des externalités par les entreprises, capacités qui dépendent directement de l'effort de R&D (dépense de R&D en pourcentage du chiffre d'affaires ou de la valeur ajoutée).

Dès lors tous les indicateurs mesurés en efficacité par le rapport entre une variable de résultats et l'ensemble des efforts consentis par l'état seront bien meilleurs dans le second jeu de simulations.

Retenons-en les principaux : dans l'hypothèse médiane où l'effet de levier retenu est 1 et tous les mécanismes du modèle sont conservés, un euro dépensé va engendrer une création de valeur de 2,9 euros dans le cas d'un dispositif transitoire et de 4,6 euros dans le cas d'un dispositif permanent ; le solde extérieur sera amélioré respectivement de 0,7 euro et de 1,5 euro. L'emploi total annuel moyen créé par l'ensemble des dépenses sera de 61 000 dont 20 000 dans la recherche si le dispositif est transitoire et de 135 000 dont 30 000 dans la recherche si le dispositif est permanent. Par ailleurs, un indicateur extrêmement synthétique est fourni par le taux de rendement des investissements publics qui est respectivement de 28,5 % dans le premier cas et de 54 % dans le second. Enfin, il faut souligner que le supplément de croissance engendré par ces dépenses initiales entraîne dans les deux scénarios un accroissement de recettes et que, en moyenne le solde budgétaire est légèrement positif sur les périodes analysées.

En outre, les innovations de procédés générées par le dispositif abaissent le coût de production et les innovations de qualité abaissent le prix d'une qualité donnée, ce qui confère à l'économie française de précieux gains de compétitivité. La durée de ces améliorations va dépendre cependant de la possibilité de maintenir les prix. Or, d'après les mécanismes du modèle, il existe dès le début des germes inflationnistes qui naissent d'abord sur le marché du travail. Plus précisément, des tensions apparaissent à l'embauche des chercheurs supplémentaires que nécessite cette politique, tensions qui rejaillissent sur l'ensemble des travailleurs qualifiés et qui s'ajoutent aux tensions liées à la période « keynésienne » de l'investissement en R&D. Pour mesurer l'ampleur du phénomène, il a été conduit des simulations sans cet effet dit « Philips ». L'amélioration des résultats pour l'hypothèse centrale (effet de levier de 1) est sans appel : chaque euro dépensé conduit respectivement en fonction du caractère transitoire ou durable du dispositif aux créations de valeurs de 3,4 et 5,7 euros respectivement, et à l'amélioration du solde extérieur de 0,9 et 2,1 euros respectivement. Le nombre annuel moyen d'emplois créés par le dispositif est de 77 000 et de 160 000 respectivement, enfin les taux de rendement de 36 % et 70 %. La suppression de l'effet Phillips enlève une bonne part des freins dus aux effets de rééquilibrage macroéconomique et surtout permet de s'évader de la contrainte du nouveau taux de chômage naturel, qui, s'il est abaissé en raison des gains de productivité, n'en demeure pas moins un frein à la croissance de l'emploi. Les conséquences en termes de recommandations de politique économique sont d'essayer de limiter le plus possible l'émergence de ces tensions initiales en formant un nombre suffisant de chercheurs et de personnels liés à l'activité de recherche et en veillant également aux tensions qui pourraient naître de l'augmentation de la croissance.

On peut aller encore plus loin pour maintenir la compétitivité de l'économie, en limitant les « pouvoirs de monopole » de certains acteurs qui utilisent le dispositif pour accroître leur taux de marge. C'est le

cas notamment des exportateurs qui ont un « comportement de marge » qui aboutit à limiter les baisses de prix des exports. En supprimant ce comportement dû à la concurrence monopolistique, la baisse du prix des exports améliorerait encore davantage les résultats du modèle, mais il est vrai que cette suppression proviendrait davantage de réformes structurelles de pays tiers. En tout cas, en faisant l'hypothèse de suppression de ce comportement de marge qui s'ajoute à la courbe de Philips, on obtient, toujours pour l'hypothèse centrale de l'effet de levier égal à 1 que, dans ce cas, un euro de CIR engendrerait une création de richesse de 4,2 euros pour le CIR transitoire et de 6,5 pour le durable et, respectivement, une amélioration du solde commercial de 1,4 et 2,5 euros. Les gains en emplois des deux scénarios seraient respectivement de 97 000 et 216 000 ; les taux de rendement seraient respectivement de 48 % et de 82,5 %. On se retrouve dans le cas où les forces rééquilibrantes macro-économiques exercent le moins de contraintes et où le sentier de croissance se rapproche le plus possible de celui d'un modèle de croissance endogène dans lequel l'augmentation soutenue de l'effort de R & D conduit à une augmentation durable du taux de croissance.

Enfin soulignons que l'ensemble de ces chiffrages ont été obtenus pour une hypothèse médiane de l'effet de levier de 1. Les autres résultats pour les bornes de 0,8 et de 1,2 sont présentés dans le corps du texte et ils sont à peu près proportionnels à la valeur de l'effet de levier : 20 % inférieurs et 20 % supérieurs.

Tels sont les principaux résultats que nous voulions mettre en valeur ; il reste que, en dépit de cette étude relativement détaillée, ayant nécessité de nombreuses simulations, nous ressentons encore le besoin d'approfondissements futurs exposés plus avant.

Le premier approfondissement porte sur la mesure de l'effet de levier : les études commanditées par la CNPEI et le MESRI concernent seulement les entreprises bénéficiaires de ce dispositif avant son renforcement en 2008, laissant de côté celles qui n'en bénéficiaient pas avant. Il serait intéressant de reprendre ces évaluations lorsque de nouvelles études nous auront livré leurs résultats sur l'effet de levier pour les entreprises qui ont commencé à bénéficier du CIR après 2008. De plus, ces études sur l'effet de levier se concentrant à ce stade sur les petites et moyennes entreprises, les études plus récentes commandées par la CNEPI tendent à montrer que les premières études tendent à surévaluer l'effet de levier du CIR sur les investissements en recherche des entreprises, qui pourrait être inférieure à 0,8, la borne basse retenue dans cette étude. Une meilleure prise en compte des grandes entreprises, qui ont dans leur ensemble une stratégie mondialisée, pourrait conduire également à réviser ultérieurement à la baisse l'évaluation des retombées économiques du CIR sur le territoire national donnée par cette étude.

Le second approfondissement concerne le mode de financement : nous avons supposé ici que le financement ne venait de « nulle part », en ce sens qu'il accroît « *ex-ante* » le déficit de l'État avant que les effets de la croissance économique générée par le dispositif sur les finances publiques ne conduisent à une augmentation des recettes supérieures aux dépenses liées au CIR. L'analyse mesure le coût d'opportunité d'une utilisation des fonds publics pour financer le CIR par rapport à une baisse de l'impôt sur les sociétés. Ce coût d'opportunité est négatif tant que l'effet de levier du CIR est supposé supérieur à 0,3. Il serait intéressant d'approfondir cette analyse en précisant mieux l'origine des fonds comme l'ont fait diverses évaluations de politiques de Recherche Européennes, ou encore le coût d'opportunité du dispositif par rapport à d'autres politiques publiques en particulier d'autres modes de soutien à la R & D privée ou publique.

En raison des contraintes de temps et de ressources, il n'a pas été possible d'exploiter toutes les possibilités du modèle qui comporte d'autres actifs d'innovation, les technologies de l'information et de la communication et les compétences. Or, ces actifs sont complémentaires des investissements en R&D et il serait intéressant d'évaluer aussi la capacité de politiques d'accompagnement visant ces actifs à améliorer l'efficacité du CIR.

10. Bibliographie

P. Aghion and P. Howitt. A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 60(2):323–351, 1992.

Philippe Aghion and Peter Howitt. *Endogeneous Growth Theory*. MIT Press, Cambridge, 1998.

U. Akcigit, C. Benedetti-Fasil, G. Impullitti, O. Licandro, and M. Sanchez-Martinez. *Macroeconomic Modelling of Innovation Policy*. Palgrave Macmillan, 2020 - Forthcoming.

Barbara Annicchiarico, Omar Licandro, Eva Ortega, Pierre Mohnen and Reinhilde Veugelers. *Moving the Frontier of Macroeconomic Modelling of Research and Innovation Policy*. Independent expert report for European Commission. 2020. doi:10.2777/34199

K.J. Arrow. The economic implications of learning by doing. *The Review of Economic Studies*, pages 155–173, 1962.

d'Artis Kancs and Boriss Siliverstovs. R&d and non-linear productivity growth. *Research Policy*, 46:634–646, 2016.

Sara Barcenilla-Visus, Carmen Lopez-Pueyo, and Jaime Sanau. *Semi-Endogenous Growth Theory Versus Fully-Endogenous Growth Theory: a Sectoral Approach*. Technical report, Mimeo. University of Zaragoza, 2010.

R. Belderbos and P. Mohnen. SIMPATIC Project, Deliverable D7: Intersectoral and international R&D spillovers. Technical report, MERIT, 2013.

J. I. Bernstein. The Structure of Canadian Inter-industry R&D Spillovers, and the Rates of Return to R&D, *Journal of Industrial Economics*, XXXVII (3), 315-328. 1989.

J.I. Berstein and I.M. Nadiri. Product demand, cost of production, spillovers and the social rate of return to R&D. NBER Working Paper No 3625, 1991.

Bernstein, J. I., and P. Mohnen (1998), International R&D Spillovers Between U.S. and Japanese R&D Intensive Sectors, *Journal of International Economics*, 44, 315-338.

Bernstein, J. I. (1998), Factor intensities, rates of return, and international spillovers: The case of Canadian and U.S. industries, *Annales d'Economie et de Statistique*, 49/50, 541-564.

F. Bogliacino and M. Pianta. Innovation and employment: a reinvestigation using revised Pavitt classes. *Research Policy* 39 (6), 623, 2010.

B. Boitier, P. Le Mouël, P. Zagamé, H. Brozaitis, J. Espasa, V. Stanciauskas, R. Wintjes, and P. Mohnen. Support for Assessment of Socio-Economic and Environmental Impacts (SEEI) of the European R&I Programme; the Case of Horizon Europe. European Commission KI-02-18- 999-EN-N, 2018.

Laura Bottazzi, Giovanni Peri. The International Dynamics of R&D and Innovation in the Long Run and in the Short Run. *The Economic Journal*, Volume 117, Issue 518, March 2007, Pages 486–511. 2007.

A. Bozio, S. Cottet et L. Py (2017), Impact de la réforme de 2008 du CIR sur la R & D et l'innovation, rapport pour France Stratégie, février.

Dorothee Brécard, Carole Chevallier, Arnaud Fougeyrollas, Pierre Le Mouël, Lionel Lemiale and Paul Zagamé. A 3% r&d effort in Europe in 2010: an analysis of the consequences using the NEMESIS model. Technical report, DG RTD, 2004.

D. Brécard, A. Fougeyrollas, P. Le Mouël, L. Lemiale, and P. Zagamé. Macro-economic consequences of European research policy: Prospects of the Nemesis model in the year 2030. *Research Policy*, 35(7):910–924, 2006.

T. F. Bresnahan and M. Trajtenberg. «General Purpose Technologies: Engines of Growth». *Journal of Econometrics*, 65(1):83–108, 1995.

T.F. Bresnahan, E. Brynjolfsson, and L.M. Hitt. Information Technology, Workplace Organization, and the Demand for Skilled Labor: Firm-Level Evidence. *Quarterly Journal of Economics*, 117(1):339–376, 2002.

G. Cameron. Innovation and growth: A survey of the empirical evidence. Nuffield College, Oxford, July, <http://hicks.nuff.ox.ac.uk/users/cameron/research/gpapers.html>, 3, 1998.

D. Cass. Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation. *Review of Economic Studies*, 32:233–40.

Carole Chevallier, Arnaud Fougeyrollas, Pierre Le Mouël and Paul Zagamé. A Time to Sow, a Time to Reap for the European Countries: a Macro-Econometric Glance at the RTD National Action Plans. *Revue de l'OFCE*, (5):235–257, 2006.

K.B. Clark and Z. Griliches. *Productivity Growth and R&D at the Business Level: Results from the PIMS data base*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1984.

Carol Corrado, Jonathan Haskel, Cecilia Jona-Lasinio, and Massimiliano Iommi. *Intangible Capital and Growth in Advanced Economies: Measurement Methods and Comparative Results*. IZA, 2012.

Carol Corrado, Jonathan Haskel, Cecilia Jona-Lasinio, and Massimiliano Iommi. *Intangibles and Industry Productivity Growth: Evidence from the EU*. In IARIW 33rd General Conference, 2014.

David T Coe and Elhanan Helpman. *International R&D Spillovers*. *European Economic Review*, 39(5):859–887, 1995.

Dirk Crass and Bettina Peters. *Intangible Assets and Firm-Level Productivity*. 2014.

Gustavo Crespi, Chiara Criscuolo, and Jonathan Haskel. *Information Technology, Organisational Change and Productivity*. 2007.

J. P. Damijan, C. Kostevc, and M. Stare. *Impact of innovation on employment and skill upgrading*. The Warwick Economics Research Paper Series (TWERPS 339, SIMPATIC 7th EU Project, Working paper n° 7, March, 2014.

J. Davidson, D. Hendry, F. Srba, and S. Yeo. *Econometric Modelling of the Aggregate Timeseries Relationship Between Consumers' Expenditure and Income in the United-Kingdom*. *The Economic Journal*, (88):661–692, 1978.

F.P.A.-R. D'Auria and J. Varga. *A Comparison of Structural Reform Scenarios across the EU Member States: Simulation-based Analysis using QUEST Model with Endogenous Growth*. DG ECFIN, European Economy. *Economic Papers* 392., 2009.

Henri Delanghe and Ugur Muldur. *Ex-ante impact assessment of research programmes: The experience of the European Union's 7th framework programme*. *Science and Public Policy*, 34(3):169–183, 2007.

Elias Dinopoulos and Peter Thompson. *Schumpeterian Growth Without Scale Effects*. *Journal of Economic Growth*, 3(4):313–335, 1998.

P. Donselaar and C.C. Koopmans. *The fruits of R&D: Meta-analyses of the effects of Research and Development on productivity*. *Research Memorandum 2016-1*, Vrije university, 45:797–815, 2016.

European Commission. *The grand challenge - the design and societal impact of horizon 2020*. Technical report, Directorate-General for Research and Innovation, 2012.

European Commission. In-Depth Interim Evaluation of Horizon 2020, commission staff working document, swd(2017) 221 final - 222 final. Technical report, European Commission, 2017.

European Commission. A New Horizon for Europe - Impact Assessment of the 9th EU Framework Programme for Research and Innovation. European Commission - KI-02-18-513-EN-N, 2018.

John G Fernald and Charles I Jones. The Future of US Economic Growth. Technical report, National Bureau of Economic Research, 2014.

A. Fougeyrollas, B. Le Hir, P. Le Mouël, and P. Zagamé. Macro-Economic Evaluation of Innovation Policies: A New Frame by NEMESIS. 2015.

Milton Friedman. The Role of Monetary Policy. *American Economic Review*, 58(1):1–17, 1968.

Akira Goto and Kazuyuki Suzuki. R & D Capital, Rate of Return on R & D Investment and Spillover of R & D in Japanese Manufacturing Industries. *The Review of Economics and Statistics*, pages 555–564, 1989.

Z. Griliches. Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1):92–116, 1979.

Z. Griliches and F. Lichtenberg. Interindustry technology flows and productivity growth: A reexamination. *The Review of Economics and Statistics*, 66(2):324–329, 1984.

A.N. Link. A disaggregated analysis of industrial R&D: product versus process R&D. Lexington, MA: D.C. Heath, 1982.

Griffith, R., S. Redding, and J. Van Reenen (2004), Mapping the Two Faces of R&D: Productivity Growth in a Panel of OECD Manufacturing Industries. *Review of Economics and Statistics* 86(4), 883-895.

Z. Griliches and J. Mairesse. Productivity and R&D at the Firm Level. In Z. Griliches, editor, *R&D, Patents and Productivity*, pages 339–374. Chicago University Press, 1984.

Z. Griliches. *Returns to Research and Development Expenditures in the Private Sector*. Chicago University Press, 1980.

Z. Griliches and F. Lichtenberg. Interindustry technology flows and productivity growth: A reexamination. *The Review of Economics and Statistics*, 66(2):324–329, 1984.

G.M. Grossman and E. Helpman. Quality Ladders in the Theory of Growth. *The Review of Economic Studies*, 58(1):43–61, 1991.

R. Harrison, J. Jaumandreu, J. Mairesse, and B. Peters. Does innovation stimulate employment? A firm-level analysis using comparable micro-data from four European countries. *International Journal of Industrial Organization*, 35:29–43, 2014.

Joonkyung Ha and Peter Howitt. Accounting for Trends in Productivity and R&D: A Schumpeterian Critique of Semi-Endogenous Growth Theory. *Journal of Money, Credit and Banking*, 39(4):733–774, 2007.

Bronwyn H Hall, Jacques Mairesse, and Pierre Mohnen. Measuring the Returns to R&D. Technical report, National Bureau of Economic Research, 2009.

Bronwyn Hall. Innovation and Productivity. NBER working paper No 17178. 2011.

P. Hanel. R&D, inter-industry and international spillovers of technology and the total factor productivity growth of manufacturing industries in Canada, 1974-1989. Sherbrooke, Canada: University of Sherbrooke, Cahier de recherche 94-04, 1994.

D. Harhoff. R&D and productivity in German manufacturing firms. *Economics of Innovation and New Technology*, 6(1):29–49, 1998.

H. Hernandez, F. Hervas, and A. Tuebke. The 2011 EU Industrial R&D investment Scoreboard. European Commission, DG Joint Research Center, IPTS Working Papers, JRC67197, 2011.

Bengt Holmstrom. Moral Hazard in Teams. *The Bell Journal of Economics*. Vol. 13, No. 2 (Autumn, 1982), pp. 324-340. 1982.

P. Howitt. Steady Endogenous Growth with Population and R&D inputs Growth. *Journal of Political Economy*, 104(4):715–730. 1999.

Howitt P. Endogenous Growth, Productivity and Economic Policy: A Progress Report. *International Productivity Monitor*, 8, Spring 2004, 2004.

A. B. Jaffe. Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits, and market value, *American Economic Review*, 76(5), 984-1001. 1986.

D.K.N. Johnson. The OECD Technology Concordance (OTC): Patents by Industry of Manufacture and Sector of Use. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2002.

Charles I Jones. Time Series Tests of Endogenous Growth Models. *The Quarterly Journal of Economics*, pages 495–525, 1995a.

C.I. Jones. R & D-based models of economic growth. *Journal of Political Economy*, pages 759–784, 1995b.

Charles I Jones. Growth: With or without scale effects? *American Economic Review*, pages 139–144, 1999.

D. Jorgenson. Technology in Growth Theory. In Jeffrey G. Fuhrer and Jane Sneddon Little, editors, *Technology and Growth*, pages 45–77. Jeffrey G. Fuhrer and Jane Sneddon Little, Federal Reserve Bank of Boston, Conference series Nb 40, 1996.

Samuel S Kortum. Research, Patenting, and Technological Change. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pages 1389–1419, 1997.

T.C. Koopmans. *On the Concept of Optimum Growth*. Chicago: Rand-McNally, 1965.

P.K. Kruse-Andersen. Testing R&D Based Endogenous Growth Models. Copenhagen Institute of Economics Discussion Paper, 17-05, 2017.

- S. Kuznets. *Economic Growth of Nations*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.
- H.U. Kwon and T. Inui. R&D an Productivity Growth in Japanese Manufacturing Firms. *Economic and Social Research Institute (ESRI) Discussion paper series*, 044, December 2003.
- P. Lecca and S. Sakkas. *RHOMOLO V3: A Spatial Modelling Framework*. JRC Technical Reports 111861, Publication Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
- Boris Le Hir. *Capturing Information and Communication Technologies as a General Purpose Technology*. PhD thesis, Ecole Centrale, Paris, 2012.
- Aija Leiponen and Ina Drejer. What Exactly are Technological Regimes?: Intra-industry Heterogeneity in the Organization of Innovation Activities. *Research Policy*, 36(8):1221–1238, 2007.
- Pierre Le Mouël. *Macroeconomic evaluation of EU R&I Policies : ways and Means*. Economics and Finance. PhD thesis, Université Côte d'Azur, 2019. ([NNT : 2019AZUR0008](#)). ([tel-02497667](#))
- Chol-Wong Li. Endogenous vs. Semi-endogenous Growth in a Two R&D-Sector Model. *The Economic Journal*, 100:C110–C122, 2000.
- R.G. Lipsey, K. Carlaw, and C. Bekar. *Economic Transformations: General Purpose Technologies and Sustained Economic Growth*. New York: Oxford University Press, 2006.
- J. Lopez et J. Mairesse (2018), Impacts du CIR sur les principaux indicateurs d'innovation des enquêtes CIS et la productivité des entreprises, rapport final pour France Stratégie, décembre.
- J. Lopez and J. Mairesse. Influences des Investissements en TIC et R&D sur la Productivité : Une Analyse Empirique sur un Panel Non-Stationnaire. In 2nd ICTNET Workshop, London, pages 11–12, 2011.
- R. Lucas. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1):3–42, 1988.
- Jakob B. Madsen. Semi-Endogenous Growth versus Schumpeterian Growth Models: Testing the Knowledge Production Function Using International Data. *Journal of Economic Growth*, 13:1–26, 2008.
- Jacques Mairesse et Philippe Cunéo. Recherche-développement et performances des entreprises : une étude économétrique sur données individuelles. *Revue économique*, pages 1001-1042. 1985.
- P. Mohnen and N. Lépine. R&D, R&D Spillovers and Payments For Technology: Canadian Evidence, *Structural Change and Economic Dynamics*, 2, 213-228. 1991.
- B. Mulkay et J. Mairesse (2018), Nouveaux résultats sur l'impact du Crédit d'Impôt Recherche, étude pour le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, septembre.
- OECD. *Effective Innovation Policies*. 2015.

M. O'Mahony and F. Peng. Workforce Training, Intangible Investments and Productivity in Europe: Evidence from EU KLEMS and the EU LFS. Technical report, SERVICEGAP Discussion Paper, 2010.

H. Meijers and B. Verspagen. Construction of Technology Flow Matrices. DEMETER 7th FP Project, Working Paper No. 1.2a, 2010.

R. Ortega-Argiles, M.C. Piva, and M. Vivarelli. Productivity gains from r&d investment: Are high-tech sectors still ahead? *Economics of Innovation and New Technology*, 24:2014–222, 2015.

L.L. Pasinetti. *Structural Change and Economic Growth*. University Press, Cambridge, 1981.

L.L. Pasinetti. *Structural Economic Dynamic: A Theory of the Economic Consequences of Human Learning*. Cambridge University Press, 1993.

B. Peters, B. Dachs, M. Dunser, M. Hud, C. Kohler, and C. Rammer. Firm Growth, Innovation and the Business Cycle. Technical report, Background Report for the 2014 Competitiveness Report, European Commission, May, 2014.

Phelps. Phillips Curves, Expectation of Inflation and Optimal Unemployment Over Time . *Economica*, 34(135):254–281, 1967.

PPMI. Assessment of the union added value and the economic impact of the eu framework programmes - final report. Technical report, 2017.

F. Ramsey. A Mathematical Theory of Saving. *Economic Journal*, 28(112):543–59, 1928.

J. Ravet, B. Boitier, M. Grancagnolo, P. Le Mouël, L. Stirbat, and P. Zagamé. The Shape of the Things to Come: Ex-ante Assessment of the Economic Impact of Horizon Europe. *Journal for Research and Technology Policy Evaluation*. 2019.

P.M. Romer. Increasing returns and long-run growth. *The Journal of Political Economy*, 94(5):1002, 1986.

P.M. Romer. Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(S5):71, 1990.

F.M. Scherer. Inter-industry technology flows and productivity growth. *The Review of Economics and Statistics*, 64(4):627–634, 1982.

F.M. Scherer. Concentration, R&D and productivity change. *Southern Economic Journal*, 50:221–225, 1983.

Paul Segerstrom. Endogenous Growth without Scale Effects. *American Economic Review*, 88(5):1290–1310, 1998.

Andrew Sissons. *More than Making Things: A New Future for Manufacturing in a Service Economy*. Work Foundation, London, 2011.

A. Sterlacchini. R&D, innovation and total factor productivity growth in British manufacturing. *Applied Economics*, 21:1549–1562, 1989.

R.M. Solow. A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, pages 65–94, 1956.

R.M. Solow. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3):312–320, 1957.

Martin Srholec and Bart Verspagen. The Voyage of the Beagle into Innovation: Explorations on Heterogeneity, Selection, and Sectors. *Industrial and corporate change*, 21(5):1221–1253, 2012.

T.W. Swan. Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*, 32, 1956.

N.E. Terleckyj Direct and indirect effects of industrial research and development on the productivity growth of industries. In J.N. Kendrick and B.N. Vacara, editors, *New Developments in Productivity Measurement and Analysis*, pages 359–386. University of Chicago Press, 1980.

N.E. Terleckyj. Effects of R&D on the productivity growth of industries: An exploratory study. Report no.140, December. Washington, D.C.:National Planning Association. 1974

N.E. Terleckyj. R&D and the U.S. industrial productivity in the 1970s. In *The transfer and utilization of technical knowledge*, ed. D. Saha. Lexington, Mass.: D.C.Heath. 1982.

J. Tirole. *The theory of industrial organization*. MIT press, 1994.

M. Trajtenberg. Innovation in Israel 1968-1997: a comparative analysis using patent data. *Research Policy*, 30:363–389, 2001.

H. Ulku. *R&D, Innovation and Growth: Evidence from Four Manufacturing Sectors in OECD*. Oxford Economic Papers, 2007.

Janos Varga. The QUEST III DSGE Model. In U. Akcigit, C. Benedetti-Fasil, G. Impullitti, O. Licandro, and M. Sanchez-Martinez. *Macroeconomic Modelling of Innovation Policy*. Palgrave Macmillan, 2020 - Forthcoming.

F. Venturini. Product Variety, Product Quality, and Evidence of Endogenous Growth. *Economic Letters*, 117:74–77, 2012.

Bart Verspagen. Endogenous Innovation in Neo-Classical Growth Models: A Survey. *Journal of Macroeconomics*, 14(4):631–662, 1992.

B. Verspagen and I. De Loo. Technology Spillovers between Sectors and Over Time. *Technological Forecasting and Social Change*, 60:215–235, 1999.

Bart Verspagen. R&D and productivity: A broad cross-section cross-country look. *Journal of Productivity Analysis*, volume 6, pages117–135. 1995

J.C. Wang and K.H. Tsai. *Productivity Growth and R&D Expenditures in Taiwan's Manufacturing Firms*. The University of Chicago Press, Chicago/London, 2004.

Werner Roeger and Janos Varga. Structural Reforms in the EU: A Simulation-Based Analysis Using the QUEST Model with Endogenous Growth. Technical report, Directorate General Economic and Monetary Affairs (DG ECFIN), European Commission, 2008.

Wieser Robert. Research and Development Productivity and Spillovers: Empirical Evidence at the Firm Level. *Journal of Economic Surveys*, 19(4):587–621, 2005.

Christophe Teurlai et Jean-Bernard Chatelain. L'influence du coût d'usage du capital sur la décision d'investir et sur l'investissement corporel des entreprises de services françaises. Le recours au crédit-bail permet-il d'identifier des entreprises à l'origine du canal du crédit ? Cahiers du Credoc ? n° 178, novembre 2002.

Wolff, E. N., and M. I. Nadiri. (1993), Spillover effects, linkage structure, and research and development. *Structural Change and Economic Dynamics* 4 (2), 315-331.

Alwyn Young. Growth Without Scale Effects. *Journal of Political Economy*, 106(1):41–63, 1998.

Paul Zagamé. The costs of a non-innovative Europe: What can we learn and what can we expect from the simulation works. EC publication. https://ec.europa.eu/eip/ageing/library/costs-non-innovative-europe-what-can-we-learn-and-what-can-we-expect-simulation-works_en. 2010