

Estimation des montants manquants de versements de TVA: exploitation des données du contrôle fiscal

Documents de travail

N° 2022-11 – Juillet 2022





Institut national de la statistique et des études économiques

2022/11

Estimation des montants manquants de versements de
TVA :
exploitation des données du contrôle fiscal

Simon QUANTIN^{*}

Cécile WELTER-MÉDÉE^{**}

Juillet 2022

Département des Études Économiques – Timbre G201
88, avenue Verdier – CS 70058 – 92541 MONTRouGE CEDEX – France
Tél. : 33 (1) 87 69 59 54 – E-mail : d3e-dg@insee.fr – Site Web Insee : <http://www.insee.fr>

*Ces documents de travail ne reflètent pas la position de l'Insee et n'engagent que leurs auteurs.
Working papers do not reflect the position of INSEE but only their author's views.*

* Insee-Dese – Département des études économiques – Division « Marchés et entreprises »

** Insee-Dese – Département des études économiques – Division « Marchés et entreprises », CREST

Nous remercions Océane Mugneret et Arnaud Périgord de la Cour des comptes qui ont participé à nos travaux d'estimation pour le rapport de la Cour des comptes, sur lesquels s'appuie cette nouvelle évaluation. Ce travail a aussi bénéficié de la disponibilité et des nombreuses explications sur le contrôle fiscal du service GF3C de la DGFIP. Nous remercions également Thomas Deroyon pour sa discussion en séminaire et les nombreux conseils dispensés à cette occasion, Arnaud Fizzala et Emmanuel Gros pour leur disponibilité et leur accompagnement sur la théorie des sondages et les méthodes de redressement de la non-réponse par repondération, et Jérémie L'Hour pour ses conseils avisés. Enfin ce document de travail a bénéficié de la relecture attentive de Sébastien Roux et Dominique Goux.

Estimation des montants manquants de versements de TVA : exploitation des données du contrôle fiscal

Résumé

L'estimation du manque à gagner de l'administration fiscale dans son activité de recouvrement des impôts est un enjeu important, mais est difficile à effectuer. L'extrapolation à l'ensemble des entreprises redevables d'un impôt en se fondant sur des informations issues des contrôles fiscaux, nécessite de prendre en compte le processus qui a conduit à sélectionner les entreprises soumises à ces contrôles. Or ce processus est particulièrement complexe et non formalisé : il est le résultat d'un programme de contrôle concernant l'ensemble des secteurs d'activité, et d'un travail d'expertise fouillé conduit par les contrôleurs fiscaux sur la base de nombreuses informations. En découle un biais de sélection important, qui empêche toute extrapolation simpliste.

Ce travail s'appuie sur les données de gestion du contrôle fiscal transmises par la DGFIP. Pour estimer les montants manquants de TVA, nous adoptons une méthodologie en deux étapes, appliquée sur une partition des entreprises redevables de la TVA selon l'administration chargée du contrôle afin de prendre en compte les différences structurelles d'organisation des contrôles. La première étape vise à estimer une pondération pour chaque entreprise contrôlée et s'inspire des méthodes de redressement de la non-réponse par pondération. On constitue des groupes d'entreprises ayant une probabilité estimée d'être contrôlée similaire, puis on attribue à chaque entreprise d'un même groupe la même pondération, en l'occurrence l'inverse de la proportion d'entreprises effectivement contrôlées du groupe. Dans une seconde étape et en s'appuyant sur ces pondérations, on propose d'extrapoler les montants de manque à gagner par des estimateurs par le ratio et/ou la moyenne, appliqués à des regroupements d'entreprises homogènes au sens de la probabilité de frauder.

Dans l'ensemble, les différentes estimations obtenues à partir des données de contrôle relatives à l'exercice comptable de 2012 semblent assez peu dépendantes des variations méthodologiques adoptées et sont toutes comprises entre 20 et 25 milliards d'euros.

Mots-clés : *Machine Learning*, biais de sélection, écart de TVA, contrôles fiscaux

Estimating the revenue loss from VAT tax avoidance using fiscal audits

Abstract

Estimating the revenue loss from tax avoidance is an important issue, but a difficult one. Extrapolating it from tax audits to all taxable companies requires taking into account the process which led to the selection of the firms to be audited. However, this selection process is particularly complex and not formalized: it is the result of an audit program concerning all sectors of activity, and of in-depth expertise work carried out by the tax auditors based on many private informations. This results in a selection bias that is significant, which should prevent from any simplistic extrapolation.

This article is focused on the estimation of the French Value Added Tax (VAT) gap on firms subject to this tax. This exercise is based on the fiscal audits conducted by the fiscal administration. We adopt a two-step methodology that relies on a partition of VAT-taxable firms based on the administration in charge of the control, in order to take into account the structural difference in their organization. The first step aims at estimating a weighting for each controlled firm and is inspired by reweighting methods to correct for the non-response bias. Groups of firms are formed based on a similar estimated probability of being controlled, then each firm in the same group is assigned the same weighting, in this case the inverse of the proportion of firms actually controlled in the group. In a second step and based on these weightings, we propose to extrapolate the amounts of revenue loss from VAT avoidance applying estimators by the ratio and/or the average, applied to sets of homogeneous firms, in the sens of the probability to fraud.

Overall, the different estimates obtained from the controlled 2012 fiscal exercises do not seem to depend very much on the methodological variations adopted. They stand between 20 and 25 billions euros.

Keywords: Machine Learning, Selection Bias, Tax Gap, Fiscal Audits

Classification JEL : C55, C83, H26

Introduction

Ce document présente une estimation du montant des « versements manquants » de TVA, c'est-à-dire des sommes non recouvrées par l'administration fiscale du fait d'irrégularités, que celles-ci soient volontaires ou non. Dans le cadre d'un rapport de la Cour des comptes sur la fraude aux prélèvements obligatoires ([Cour des comptes, 2019](#)), un premier chiffrage de ces versements avait été effectué par l'Insee à la demande de la Cour. Ce document présente une estimation reposant sur une méthode plus solide et aboutie, pouvant servir de base pérenne à l'évaluation des versements manquants de TVA par l'administration fiscale.

L'approche retenue ici pour évaluer les versements manquants repose sur l'exploitation des données individuelles de contrôles fiscaux de la Direction Générale des Finances Publiques (DGFIP). Le principe général en est d'extrapoler à l'ensemble des entreprises assujetties à la TVA les redressements observés sur un échantillon d'entreprises contrôlées par l'administration. De façon cruciale, une telle extrapolation doit tenir compte du « biais de sélection » provenant de ce que la population des entreprises contrôlées n'est pas tirée aléatoirement, en particulier parce que les contrôleurs fiscaux ciblent davantage les entreprises les plus susceptibles d'être redressées. Une extrapolation naïve conduirait ainsi à une sous- ou à une sur-estimation du montant des versements manquants. Il est donc nécessaire de redresser ce biais de sélection en prenant en compte de manière soignée dans l'extrapolation le processus de sélection des entreprises contrôlées.

La méthodologie suivie repose en pratique sur deux étapes. Une première étape découpe l'échantillon des entreprises contrôlées en groupes de contrôle homogènes (GCH), au sein desquels la probabilité d'être contrôlée est identique (d'une manière développée infra). Puis chaque entreprise se voit affecter une pondération égale à l'inverse de la probabilité d'être contrôlée correspondant à son groupe. La seconde étape consiste alors à extrapoler les montants manquants en s'appuyant sur les pondérations calculées à la première étape, ce qui permet de redresser le biais de sélection. Cette approche s'inspire des méthodes utilisées pour le redressement de la non réponse dans le cadre de l'exploitation des enquêtes statistiques.

Plus spécifiquement, les probabilités de contrôle étant inconnues, la première étape consiste à les estimer et ce travail utilise un algorithme de machine learning (comme le font [Tagliaferri et al. \(2019\)](#)). Cette approche autorise une certaine souplesse dans l'évaluation des liens entre les déterminants du contrôle fiscal et la probabilité de contrôle, et d'éviter de faire des hypothèses fortes a priori sur ces liens. Elle permet aussi d'exploiter au mieux la grande quantité d'information disponible et ainsi de profiter de la taille des bases mobilisées. Le regroupement en GCH se fait selon des modalités usuelles ([Särndal et al. \(2003\)](#), [Särndal et Lundstrom \(2005\)](#), [Haziza et Beaumont \(2007\)](#), [Deroyon \(2018\)](#)). La probabilité de contrôle au sein d'un GCH est définie comme la proportion d'entreprises qui y sont effectivement contrôlées, et la pondération comme l'inverse de cette probabilité.

S'agissant de la deuxième étape, on a retenu des estimateurs par domaines, classiques en théorie des sondages. Les domaines sont créés à partir de variables corrélées au comportement de fraude. Pour chaque domaine, les montants de TVA manquante sont estimés de deux façons, par un estimateur dit du ratio et par un estimateur dit de la moyenne. Chacun de ces estimateurs exploite une information auxiliaire connue sur les entreprises redevables à la TVA, le montant de TVA brute déclarée pour l'estimateur par le ratio et le nombre de mois d'activité pour l'estimateur par la moyenne. Pour chaque estimateur, un intervalle de confiance de l'estimation est fourni.

Il est en outre tenu compte de ce que le contrôle fiscal s'effectue à divers niveaux en fonction du chiffre d'affaires des entreprises. Ainsi la Direction des Vérifications Nationales

et Internationales (DVNI) est chargée du contrôle des plus grandes entreprises et de leurs filiales ; au niveau interrégional, les Directions spécialisées du Contrôle Fiscal (Dircofi) s'occupent des entreprises de taille intermédiaire ; les directions locales contrôlent les très petites entreprises. Si 10 % des entreprises sont contrôlées par la DVNI et les Dircofi sur leur champ de compétence, c'est le cas de moins de 2 % des petites entreprises. Cependant, les contrôles sur ces dernières sont plus ciblés. Ces différences conduisent à appliquer la méthodologie exposée plus haut de façon séparée sur chacun des trois champs (grandes entreprises, entreprises intermédiaires, petites entreprises), de manière donc à tenir compte des différences d'organisation des contrôles et de leurs résultats.

Concrètement, les estimations sont réalisées à partir des contrôles fiscaux recensés dans la base de gestion Alpage de la DGFIP. Elles portent sur l'année 2012, année la plus récente pour laquelle l'ensemble des contrôles la concernant sont achevés (soit plusieurs années après la période sur laquelle porte le contrôle), et dont les résultats ont pu être mis à disposition de l'Insee lors de la réalisation de l'étude. La méthodologie a été transmise aux services de la DGFIP de façon à ce que puissent être produites de telles estimations de manière pérenne.

Nos résultats suggèrent que, quel que soit l'estimateur retenu, le montant total de TVA non recouvré serait compris entre 20 et 25 milliards d'euros sur l'année 2012, avec des intervalles de confiance (à 95 %) compris entre 19 et 26 milliards d'euros. Ces estimations sont plus élevées que les chiffrages annexés au rapport de la Cour des comptes de décembre 2019, qui aboutissait pour la même année à un ordre de grandeur d'une quinzaine de milliards d'euros. La méthodologie approfondie présentée ici redresse en effet de façon plus robuste le biais de sélection des entreprises contrôlées. Elle intègre en outre de façon plus cohérente la durée sur laquelle portent les contrôles dans les estimateurs. Pour autant, il n'est pas possible de savoir dans quelle mesure le biais de sélection a pu être effectivement pris en compte. Seule la mise en place de contrôles aléatoires permettrait de surmonter cette difficulté.

La première partie de document de travail est consacrée à la description des données de gestion du contrôle fiscal transmises par la DGFIP sur lesquelles s'appuie notre estimation, ainsi qu'à l'organisation du contrôle fiscal et au champ retenu. La seconde partie est exclusivement méthodologique : y sont détaillés la méthodologie en deux étapes et notamment les estimateurs retenus et leur intervalle de confiance. La troisième partie présente les résultats de chaque étape de l'estimation, depuis les pondérations des entreprises, jusqu'aux montants totaux de TVA manquants estimés pour l'année 2012. Enfin, la quatrième et dernière partie conclut.

1 Données, organisation du contrôle fiscal et périmètre de l'étude

Les estimations présentées dans ce document portent, comme déjà mentionné, sur les versements manquants de TVA tels qu'ils sont appréhendés par les redressements issus des contrôles fiscaux. Cette notion est donc plus précise que celle de « fraude », même si nous emploierons par endroits ce terme par commodité. Comme le rappelle le rapport de la Cour des comptes (2019), la notion de fraude est difficile à appréhender et peut recouvrir des notions diverses. Il est possible de s'appuyer sur la définition de la fraude figurant dans l'article 1741 du code général des impôts : le non respect du droit fiscal. Il existe cependant un certain nombre de pratiques, qui, bien que respectant le droit fiscal, sont des activités d'évitement fiscal : c'est par exemple le cas d'une partie de l'évasion fiscale et de l'optimisation fiscale, qui restent licites. Intégrer ou non ces comportements d'évitement de l'impôt dans le périmètre de la « fraude fiscale », peut notablement changer les montants en jeu ; dans la mesure où ces comportements n'ont pas donné lieu à un redressement, ils ne sont pas pris en compte dans cette étude.

1.1 La base de données Alpage de gestion des contrôles fiscaux

La base de données Alpage utilisée dans cette étude¹ est une base de données de gestion de la DGFIP. Elle recense l'ensemble des contrôles fiscaux ayant, à la date de l'extraction, abouti à une notification au contribuable de l'absence ou de la présence d'un redressement entre 2012 et 2018, l'année de notification correspondant à l'année à laquelle le comptable de la DGFIP notifie à l'entreprise redressée le montant dû (ou non). Son exploitation statistique est cependant rendue complexe par les principes qui régissent sa mise à jour.

Tout d'abord, pour chaque entreprise contrôlée, sur une période comptable donnée, par un contrôleur fiscal, est ouvert un dossier dans cette base de gestion. Ainsi, pour une année de notification donnée, pour une même période comptable, une même entreprise contrôlée par plusieurs contrôleurs fiscaux présente autant de dossiers différents dans la base Alpage. Dans ce cas particulier, on fait l'hypothèse qu'il s'agit d'un unique contrôle portant sur l'entreprise considérée². Cela implique toutefois que l'absence d'identifiant de l'entreprise contrôlée (par exemple, en cas d'activité non déclarée) impose de faire l'hypothèse simplificatrice selon laquelle un numéro de dossier est associé à un unique contrôle.

De plus, lors de l'enregistrement automatique du dossier, autant de lignes que de motifs de redressement possibles (identifiés par des codes Thesaurus) sont automatiquement créées, sans lien avec les impôts effectivement contrôlés³. Dès lors, l'identification, par exemple à partir des codes thesaurus relatifs à la TVA, des entreprises effectivement contrôlées au titre de la TVA n'est pas immédiate. Cette liste des codes thesaurus établie par la Cour des comptes avec la DGFIP⁴ permet en effet de déterminer pour chaque dossier le montant

1. Il s'agit d'une extraction des données issues du logiciel de gestion en date du 06/09/2019.

2. D'après la DGFIP, ces cas de figures sont très peu nombreux. Seules les très grosses entreprises peuvent avoir plusieurs numéros de dossier pour un même période contrôlée. Dans les publications budgétaires faites par la DGFIP, le nombre de dossiers traités une année comptabilise distinctement tous ces numéros de dossiers, sans suppression de ces « doublons ». Par ailleurs, il existe aussi des vrais doublons d'enregistrement dans la base Alpage, au sens où pour une même entreprise (SIREN) et une même période contrôlée, plusieurs identifiants dossier peuvent être associés à un montant redressé identique pour un même motif (code Thesaurus). Ces observations multiples ont été supprimées en accord avec la DGFIP.

3. À l'inverse, pour les quelques inscriptions manuelles dans la base de gestion, seules les lignes effectivement contrôlées sont générées.

4. Sur les 111 codes thesaurus relatifs à la TVA existants, 10 ont été supprimés en accord avec la DGFIP pour limiter les codes relevant des taxes sur le chiffre d'affaires qui étaient possiblement remboursées au contribuable à la suite du contrôle, et donc neutres fiscalement (cf. rapport de la Cour des comptes publié

de redressement prononcé à l'encontre de l'entreprise contrôlée⁵ sur cet impôt, et donc le nombre de dossiers de contrôles fiscaux ayant conduit à un redressement de TVA⁶.

Mais cet enregistrement systématique de multiples motifs de contrôle sans que ceux-ci ne soient nécessairement réalisés ne permet pas d'identifier les entreprises qui auraient effectivement été contrôlées à la TVA, et n'auraient pas été notifiées d'un montant de fraude à la TVA à l'issue du contrôle. Il est donc nécessaire de recourir à une autre information, afin de définir le champ des entreprises contrôlées à la TVA mais non redressées. Il convient alors de s'intéresser à la procédure de contrôle fiscal engagée pour chaque dossier.

1.2 Les différents types de procédure de contrôle fiscal

On distingue deux types de contrôles menés par l'administration fiscale auprès des entreprises : le contrôle sur pièces et le contrôle sur place. Le contrôle sur pièces désigne un contrôle fiscal effectué au sein des locaux de la DGFIP. Il consiste en une analyse critique des déclarations faites par le contribuable ainsi qu'en des recoupements avec l'ensemble des autres informations disponibles ou recueillies par l'administration dans le cadre des procédures légales, notamment le droit de communication. Le contrôle sur place ou « contrôle fiscal externe » consiste, lui, en la vérification de la comptabilité des entreprises, en général dans ses locaux, en vue de contrôler la sincérité et l'exactitude de ses déclarations.

Au-delà du lieu où est effectué le contrôle fiscal, il existe plusieurs types de vérification, les trois principales étant la vérification générale de comptabilité et la vérification ponctuelle ou la vérification simple d'un impôt donné. La vérification générale désigne ainsi un ensemble d'opérations ayant pour objet d'examiner sur place la comptabilité d'une entreprise et de la confronter à certaines données de fait ou matérielles afin de vérifier l'exactitude et la sincérité des déclarations souscrites et d'effectuer les rehaussements nécessaires. À l'inverse, une vérification de comptabilité est considérée comme ponctuelle lorsque son champ d'investigation porte soit (i) sur un point de la situation fiscale du contribuable (par exemple le contrôle de certains postes clairement individualisés sur une déclaration tels que les provisions, ou bien le contrôle des opérations ayant concouru au crédit de TVA dont le remboursement est demandé) soit (ii) sur un impôt déterminé sur toute la période non prescrite (au plan administratif, ces vérifications ponctuelles sont comptabilisées dans la catégorie des vérifications dites simples, par exemple : vérification d'un bénéfice non commercial non soumis à la TVA), soit (iii) sur une période plus courte que le délai normal de reprise.

La base de données Alpage ne recense que les résultats des contrôles sur place mais précise le type de vérifications effectuées (simples, ponctuelles ou générales) en distinguant pour les vérifications ponctuelles et simples l'impôt concerné, et notamment celles qui concernent la TVA. Par définition, cette information n'est pas disponible dans le cas d'une vérification générale, qui est par ailleurs le motif de vérification le plus répandu. Il est donc nécessaire dans ce cas de figure d'émettre une hypothèse sur la teneur des impôts et taxes effectivement

le 2 décembre 2019 et disponible ici : <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/la-fraude-aux-prelevements-obligatoires>).

5. Celui-ci ne sera pas nécessairement recouvré. Des procédures d'appel, par exemple, peuvent en diminuer l'ampleur.

6. Selon les motifs de redressement, une entreprise peut se voir notifier un montant positif ou négatif. Les montants de redressements négatifs correspondent à des erreurs de déclaration manifestes, bénéficiant à l'entreprise lors du contrôle. Il existe certainement des erreurs de bonne foi des contribuables qui conduisent également à la notification de montants de TVA positifs, probablement de montants équivalents en valeur absolue aux montants négatifs notifiés. Mais n'ayant pas connaissance de l'intentionnalité, il est impossible de les distinguer des montants notifiés suite à des fraudes intentionnelles. Par convention, dans la suite de ce document, une entreprise dite « redressée » se sera donc vue notifiée d'un montant total strictement positif de redressement pour l'exercice comptable considéré.

contrôlés, dès lors que l'entreprise n'a pas fait l'objet d'un redressement fiscal au titre de la TVA. Nous faisons l'hypothèse dans la suite de l'étude qu'une vérification générale conduit au contrôle systématique de la TVA. Cette hypothèse nous permet d'avoir un échantillon d'entreprises contrôlées le plus large possible et plusieurs discussions lors des réunions du groupe d'experts mandatés par la Cour des comptes ont confirmé sa crédibilité.

Au final, dans cette étude, le champ des entreprises contrôlées au titre de la TVA regroupe les entreprises contrôlées sur place soit au titre d'une vérification générale soit d'une vérification simple ou ponctuelle de TVA.

Afin de valider les choix précédents, nous utilisons comme référence les chiffres issus des documents des Finances publiques (évaluations des voies et moyens – Tome 1, les évaluations de recettes, annexe au Projet de loi de finances pour 2019, noté V&M dans la suite de ce travail⁷). En effet, retrouver le nombre total d'opérations effectuées nous permet de nous assurer de la définition d'un dossier dans un premier temps ; estimer les montants redressés de TVA devrait alors nous conduire à nous approcher des montants de taxes sur le chiffre d'affaires et assimilés redressés publiés par la DGFIP.

Tableau 1 – Estimation du nombre de dossiers à partir de la base Alpage

Année de notification	Nombre de dossiers		
	Estimé	Voies et Moyens	Écart
2012	48 134	48 178	-44
2013	48 132	48 219	-87
2014	47 719	47 776	-57
2015	46 264	46 266	-2
2016	45 256	45 314	-58
2017	44 240	44 287	-47

Source : données DGFIP, calculs Insee/Cour des comptes.

En ce qui concerne le nombre de dossiers, notre exploitation de la base de gestion Alpage aboutit à des résultats très proches de ceux publiés dans V&M (cf. Tableau 1).

Tableau 2 – Montants de redressements notifiés par année de notification

Année de notification	Montant total des redressements (en M€)		
	Thesaurus TVA	Voies et Moyens	Écart
2012	3 139	2 987	+152
2013	2 576	2 442	+134
2014	2 205	2 084	+121
2015	2 022	1 961	+61
2016	2 021	1 992	+29
2017	2 019	1 962	+57

Source : données DGFIP, calculs Insee/Cour des comptes.

Le Tableau 2 présente les résultats obtenus pour les montants de redressement au titre de la TVA notifiés une année donnée. Cette fois encore, les montants totaux calculés à partir de la base Alpage sont proches de ceux publiés dans V&M, bien que systématiquement supérieurs.

7. Le nombre de dossiers et les montants redressés publiés dans V&M sont aussi issus de la base Alpage. Cependant, ils proviennent d'onglets différents de la base de gestion, conduisant à l'existence de menus écarts.

Dans les deux cas, le montant de redressement total notifié par année décroît entre 2012 et 2017, probablement en partie parce que le nombre de dossiers diminue. Au-delà du montant annuel total, il est d’ores et déjà intéressant de décrire comment évolue la distribution des montants de redressement notifiés chaque année. Celle-ci est globalement similaire d’une année sur l’autre (cf. Tableau 3), on remarque par ailleurs que chaque année, des montants de redressement très élevés, jusqu’à plus de 100 fois plus élevés que le 99^{ème} centile, sont notifiés.

Tableau 3 – Répartition des montants redressés par année de notification (en milliers d’€)

Année de notification	Médiane	Moyenne	90 ^e décile	99 ^e centile	Maximum
2012	22	104	123	738	811 000
2013	22	76	130	764	93 000
2014	23	74	130	729	102 000
2015	23	70	126	765	19 000
2016	23	72	126	727	71 000
2017	22	77	128	728	66 000

Source : données DGFIP, calculs Insee/Cour des comptes.

1.3 Exercices fiscaux contrôlés et choix de la période considérée

Lors d’un contrôle fiscal, les entreprises sont possiblement contrôlées au titre de plusieurs années (le plus souvent pour 3 années d’exercices comptables), avant de recevoir une notification. Dans le comptage du nombre de contrôles présenté précédemment, l’unité temporelle considérée était l’année de notification, qui est celle présente dans l’ensemble des documents budgétaires. En termes de comportement de fraude, il est en revanche plus naturel de rapporter le redressement constaté à l’année ou aux années de la période contrôlée⁸.

La présence de plusieurs contrôles fiscaux notifiés la même année⁹ (par exemple, si une vérification simple de TVA sur une période comptable donnée est suivie pour la même période ou pour une période en partie concomitante d’une vérification générale), nous conduit tout d’abord à allouer le montant total de redressement à une période d’exercice factice, débutant à la date de début de contrôle la plus précoce (parmi tous les contrôles relatifs à l’impôt considéré, qui ont conduit à une notification de redressement l’année considérée), et se terminant à la date de fin de contrôle la plus récente (idem). Ainsi, les périodes contrôlées se trouvent mécaniquement étendues relativement à ce qui est présent dans la base Alpage et les montants de redressement automatiquement lissés sur la période de contrôle.

Par ailleurs, analyser les redressements prononcés pour une année civile donnée est plus pertinent pour les premières années de notification recensées dans la base Alpage utilisée. En effet, il est probable que celle-ci recense, dans la version utilisée dans cette étude, quasi exhaustivement les contrôles portant sur ces exercices fiscaux. Pour les années plus récentes, des contrôles sont en cours, et d’autres seront décidés plus tard ; le total des contrôles

8. On notera que la similarité des distributions des montants de redressement prononcés par année de notification évoquée dans la section précédente, suggère, sans le démontrer, que le passage d’une analyse par année de notification à une approche par année d’exercice fiscal contrôlé n’est pas impacté sur cette période par une évolution temporelle des pratiques de contrôle, notamment en termes de redressement.

9. conduisant ou non à un redressement de TVA.

qui ont eu lieu au titre de ces exercices ne reflète pas le nombre total de contrôles qui auront porté sur ces années. Ainsi, le tableau 4 ci-dessous révèle que le nombre de contrôles figurant dans la base Alpage relatif à une année civile donnée est le plus élevé entre 2011 et 2014 (cf. Nb. dossiers contrôlés). ***Notre étude portera donc sur l'exercice fiscal de l'année 2012*** : c'est sur cette année d'exercice fiscal que l'on compte dans la base Alpage dont on dispose le plus grand nombre de contrôles fiscaux.

Tableau 4 – Répartition des contrôles selon leur année de notification, par année comptable contrôlée dans ces dossiers

Exercices contrôlés	Année de notification (en %)							Nb. dossiers contrôlés
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
2008	72	20	4	2	1	1	1	34 647
2009	54	33	9	2	1	0	0	75 487
2010	35	35	21	6	1	1	0	118 085
2011	17	30	30	18	5	1	1	140 285
2012	3	16	30	29	17	5	1	140 471
2013	0	2	16	30	30	18	5	135 479
2014	0	0	2	16	31	31	19	126 423
2015	0	0	0	3	20	38	39	101 576

Note : les pourcentages supérieurs à 10 % sont en gras.

Lecture : Dans la base Alpage disponible, 35 % des 118 085 dossiers qui concernent l'exercice comptable 2010 ont fait l'objet d'une notification de redressement en 2012.

Source : données DGFIP, calculs Insee/Cour des comptes.

1.4 Déterminer le champ des entreprises redevables de la TVA

La TVA se caractérise essentiellement comme un impôt général sur la consommation qui s'applique aux livraisons de biens et prestations de services situées en France. L'assujettissement à la taxe est déterminé par la nature des opérations effectuées ou des produits concernés, indépendamment de la situation personnelle de l'assujetti ou de son client. Dès lors, une entreprise est « redevable de la TVA » en tant qu'assujettie qui réalise une opération imposable à la TVA. Il n'est pas aisé de déterminer dans plusieurs secteurs d'activité si la nature des opérations réalisées est imposable à la TVA, et une démarche usuelle consiste à définir le champ des entreprises redevables de la TVA à partir de leurs obligations déclaratives auprès des services fiscaux. Le reversement de la TVA s'effectue en effet à l'aide de déclarations dont la forme et la fréquence dépendent du régime d'imposition.

Tout d'abord, l'article 293 B du code général des impôts (CGI) institue une franchise en base de taxe sur la valeur ajoutée pour les petites entreprises. Plus précisément, en deçà de seuils de chiffre d'affaires (actualisés tous les trois ans et différents selon la nature de l'opération), les activités de livraisons de biens et les prestations de services (principalement) sont exonérées de déclaration et de TVA. Cette franchise en base de TVA n'est cependant pas obligatoire et résulte d'un choix de l'entreprise. Le régime simplifié d'imposition (RSI) concerne les entreprises dont le chiffre d'affaires hors taxe est plus élevé que ceux qui délimitent les seuils de franchise de TVA¹⁰. Ce régime impose de payer deux acomptes en juillet et en décembre de chaque année et d'adresser une déclaration comptable CA12 récapitulant l'ensemble des opérations imposables de l'année civile précédente ; la TVA correspondante due s'entendant sous déduction des acomptes déjà versés. Pour les chiffres

10. Au moment de la rédaction de cet article, le chiffre d'affaires hors taxe devait être compris entre 85 800 et 818 000 € pour les activités de vente et de prestation de logement, et compris entre 34 400 et 247 000 € pour les activités de prestations de services.

d'affaires encore plus élevés¹¹, les entreprises sont imposées sous le régime réel normal (RN). Ce régime impose de télétransmettre une déclaration CA3 chaque mois qui renseigne de la TVA due au cours du mois précédent, ou lorsque la TVA est inférieure à 4 000 € par an une déclaration trimestrielle.

Les entreprises redevables de la TVA retenues dans cette étude sont celles ayant effectué au moins une déclaration de TVA l'année civile considérée, que le montant déclaré des opérations imposables soit nul ou non. Par définition, ce champ ne retient donc pas les entreprises sous le régime de la franchise de TVA. Il ne retient pas non plus celles qui ne seraient pas éligibles à la franchise de TVA et qui n'auraient pour autant pas rempli de déclarations de TVA, ce qui constitue précisément un motif de redressement fiscal.

Les données de TVA utilisées dans cette étude sont des fichiers annuels agrégeant les déclarations effectuées par une entreprise au cours d'une année civile. Même si les informations disponibles dépendent du type de déclaration adressée (CA3 ou CA12), plusieurs éléments à déclarer sont communs aux deux régimes d'imposition, RSI et RN, parmi lesquels, le montant total de TVA brute déclarée, le montant total de TVA déductible, la demande d'un report de crédit de TVA, une partition de la TVA brute en fonction des taux d'imposition ou de la nature des opérations (livraisons intra-communautaires, TVA sur immobilisations...) entre autres. Outre la définition du champ des entreprises redevables, ces données seront utilisées pour estimer la probabilité d'être contrôlée par la DGFIP. Nous détaillerons dans la partie méthodologique consacrée à l'estimation de la probabilité d'être contrôlée (section 2.1.1) les caractéristiques retenues.

1.5 L'organisation administrative du contrôle fiscal

Le contrôle fiscal est assuré par trois niveaux de contrôle - national, interrégional, et local - correspondant à une segmentation du tissu fiscal des entreprises (grandes, moyennes, petites). Au niveau national, la Direction des Vérifications Nationales et Internationales (DVNI) contrôle tous les impôts, droits et taxes dus par les grandes entreprises nationales et internationales, réalisant un chiffre d'affaires supérieur à 152,4 M€ pour les ventes et 76,2 M€ pour les prestations de services (ou dont l'actif brut est supérieur à 400 M€) ainsi que par leurs filiales. Au niveau interrégional, les Directions spécialisées de contrôle fiscal (Dircofi) sont spécialisées dans le contrôle fiscal des entreprises de taille moyenne relevant de leur ressort territorial. Elles ont en charge les entreprises dont le chiffre d'affaires est compris entre 1,5 M€ et 152,4 M€ pour les ventes, et entre 0,5 M€ et 76,2 M€ pour les services. Avant la réforme territoriale qui a abouti au passage à 13 régions¹², on dénombrait neuf Dircofi¹³ dont le périmètre géographique d'intervention dépendait de la région ou du département du siège de l'entreprise. Les Dircofi comportent de dix à trente deux brigades¹⁴ réparties par secteur(s) d'activité. Enfin, au niveau départemental, le contrôle fiscal des petites entreprises (chiffre d'affaires inférieur à 1,5 M€ pour les ventes et 0,5 M€ pour les prestations de services) est assuré par les directions locales (Directions Départementales des Finances Publiques et Directions Régionales des Finances Publiques). Celles-ci disposent chacune d'une à dix brigade(s) spécialisée(s) par secteur d'activité.

11. C'est-à-dire au moment de la rédaction de cet article, le chiffre d'affaires hors taxe devait être supérieur à 818 000 € pour les activités de vente et de prestation de logement, et à 247 000 € pour les activités de prestations de services.

12. Réforme territoriale promulguée le 7 août 2015 ; passage de 22 à 13 régions en janvier 2016. C'est principalement l'organisation du contrôle fiscal avant réforme qui nous intéresse, puisque 78 % des contrôles sur l'exercice fiscal 2012 retenus pour cette étude, ont été menés avant 2016.

13. Centre, Est, Ouest, Nord, Sud-Est, Sud-Ouest, Sud Pyrénées, Rhône-Alpes-Bourgogne et Île-de-France.

14. en fonction de la zone géographique couverte.

Tableau 5 – Entreprises contrôlées et redressées sur leur exercice comptable de l’année 2012, par direction fiscale

	Nb. d’ent. redevables	Contrôlées (%)	(%)	Redressées Montant moyen (€)
DVNI	92 416	13,1	41,8	2 689
Dircofi	226 257	13,3	58,3	1 505
Directions locales	3 141 081	2,1	68,0	1 183

Note : Les entreprises contrôlées correspondent aux entreprises redevables de la TVA dont au moins un mois de l’exercice comptable 2012 a été contrôlé. La proportion d’entreprises redressées s’entend parmi les entreprises contrôlées. Le montant (moyen) de redressement prononcé correspond à un montant *par mois contrôlé* prononcé à l’encontre des entreprises contrôlées.

Champ : Entreprises redevables de la TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs

Le tableau 5 décrit, pour les entreprises redevables de la TVA, la proportion d’entre elles qui sont contrôlées et/ou redressées au titre de l’année 2012, en distinguant les directions dont elles dépendent (directions nationale, interrégionales et locales). Les entreprises redevables sont déterminées à partir des déclarations fiscales adressées à la DGFIP en 2012. Pour distinguer le chiffre d’affaires réalisé par des ventes et des prestations de service mais aussi pour déterminer la valeur de l’actif brut, nécessaires à l’affectation à l’un des trois niveaux d’administration fiscale en charge du contrôle, nous exploitons les liasses fiscales (fichier Fare de l’Insee) sur la même année. Enfin, le fichier des liaisons financières de l’Insee permet de déterminer les filiales des groupes et ainsi les affecter aux groupes dont le contrôle fiscal est assuré par la DVNI. Au total, en 2012, nous dénombrons près de 3,5 millions d’entreprises redevables de la TVA. De par leur nombre particulièrement élevé, seules 2,1 % des entreprises dont le contrôle fiscal est assuré par des directions locales sont contrôlées, alors que 13 % environ des entreprises dépendant d’une Dircofi ou de la DVNI le sont. Cependant, le contrôle fiscal se révèle plus ciblé au sein des directions locales, puisque 68 % des entreprises contrôlées font l’objet d’un redressement contre 58 % lorsque le contrôle est réalisé par une Dircofi et 42 % dans le cas de la DVNI. Enfin, les montants de redressement prononcés sont bien évidemment plus importants lorsque le chiffre d’affaires est élevé, mais plus faible en proportion de la TVA déclarée, comme le montre le tableau 6. Ainsi, pour les entreprises redevables de la TVA en 2012 et contrôlées sur cet exercice comptable par les directions locales, 2,4 % ne déclarent pas de TVA brute et sont redressées alors qu’elles sont moins de 1 % parmi les entreprises contrôlées par les Dircofi ou la DVNI. De plus, le montant du redressement prononcé à l’encontre d’une entreprise contrôlée par une direction locale représente dans 50 % des cas plus de 18 % du montant de la TVA brute déclarée alors qu’il n’excède pas 14 % (respectivement 23 %) du montant de la TVA brute déclarée dans 90 % des redressements prononcés par la DVNI (respectivement par les Dircofi).

Tableau 6 – Distribution du taux de redressement des entreprises contrôlées sur leur exercice comptable de l’année 2012, par direction fiscale

	Redressées avec TVA= 0 (%)	Taux de redressement (en %)			
		Q1	Médiane	Q3	P90
DVNI	0,3	0,1	0,5	2,8	13,8
Dircofi	0,2	0,5	1,9	7,2	22,9
Directions locales	2,4	5,0	17,9	64,2	227,4

Note : Les entreprises contrôlées correspondent aux entreprises redevables de la TVA dont au moins un mois de l’exercice comptable 2012 a été contrôlé. Le taux de redressement correspond au montant de redressement prononcé rapporté à la TVA brute déclarée sur la période contrôlée. Il n’est donc défini que pour les entreprises contrôlées ayant déclaré un montant de TVA brute strictement positif.

Champ : Entreprises redevables de la TVA en 2012 et contrôlées sur cet exercice comptable.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs

Ces premiers résultats révèlent ainsi des différences notables tant dans la probabilité d’être contrôlée que dans les redressements effectivement notifiés. ***Il apparaît donc nécessaire de procéder à une estimation séparée pour les entreprises relevant de la DVNI, des Dircofi et des directions locales.***

2 Méthodologie

La méthodologie adoptée dans cette étude s’appuie sur la théorie des sondages¹⁵. On considère les entreprises contrôlées comme les répondants à une enquête à partir desquels il est possible d’estimer les montants de TVA non recouverts pour l’ensemble des entreprises redevables de la TVA, de la même façon que l’on estime le total d’une grandeur économique pour l’ensemble d’une population à partir des seuls répondants à l’enquête. Il s’agit donc d’attribuer une pondération à chaque entreprise contrôlée permettant de rendre compte de son importance relative dans la population des entreprises redevables de la TVA, de la même façon que l’on attribue une pondération à chaque répondant à une enquête. Dans ce qui suit, nous considérons que toutes les entreprises redevables de la TVA sont « contrôlables », c’est à dire que le plan de sondage est un tirage exhaustif (toutes les entreprises « contrôlables » sont « enquêtées »). Ainsi, de ce point de vue, une entreprise contrôlée s’apparente à une entreprise « répondante » et sa probabilité d’inclusion doit être repondérée par sa probabilité de contrôle, comme on redresse de la probabilité de répondre les probabilités d’inclusion pour corriger de la non-réponse dans une enquête (Särndal *et al.*, 2003; Deroyon, 2018)¹⁶. La probabilité de « réponse » dépend cependant du nombre d’enquêteurs dévolus au contrôle, donc du nombre d’entreprises enquêtées. Les probabilités de « réponse » de chaque entreprise peuvent donc ne pas être indépendantes entre elles contrairement au cadre usuel de correction de la non-réponse. Nous discutons de l’indépendance des probabilités de réponse dans la partie 2.1.

15. Un parallèle peut être établi avec le formalisme des méthodes économétriques d’évaluation. Ainsi, en s’appuyant toujours sur la construction de groupes de contrôle homogène, l’approche par stratification selon le score de propension retenue dans la méthodologie reviendrait à considérer que l’effet moyen du traitement (c’est-à-dire le contrôle fiscal) sur les entreprises traitées (Average Treatment Effect on the Treated) est égal à l’effet moyen du traitement sur toutes les entreprises (Average Treatment Effect) conditionnellement à l’appartenance à un GCH.

16. Il existe une autre façon d’interpréter notre approche. Il s’agirait de faire l’hypothèse selon laquelle le plan de sondage de l’échantillon des entreprises contrôlées correspond à un sondage stratifié selon un « score d’opportunité du contrôle » (inconnu, qu’on estimerait par nos probabilités de contrôle estimées, tandis que les strates déterminées ex-post correspondraient à nos GCH). Cela revient à estimer directement les pondérations des entreprises effectivement contrôlées, et l’analogie avec le redressement de la non-réponse n’a plus lieu d’être. Les deux approches conduisent aux mêmes estimateurs.

Le contrôle est décidé à partir d'informations variées (existence d'un contrôle récent, données de déclaration fiscale, informations locales, etc.) et s'appuie aussi sur l'expertise des contrôleurs, difficile à formaliser et à généraliser. Dans notre étude les probabilités de contrôle sont estimées à partir des informations contenues dans les déclarations de TVA adressées par les entreprises à la DGFIP. Au-delà de l'hypothèse forte que la probabilité d'être contrôlée ne dépend que de ces informations, la pertinence de la démarche suppose aussi d'obtenir sous cette hypothèse une estimation convergente à partir des algorithmes utilisés. Pour ce faire, nous appliquons la démarche proposée par [Haziza et Beaumont \(2007\)](#) dans le redressement de la non-réponse. Les probabilités prédites ne sont pas exploitées telles qu'elles pour estimer les pondérations. Nous construisons des « groupes de contrôle homogène », c'est-à-dire des groupes d'entreprises homogènes vis-à-vis de la probabilité d'être contrôlée. Concrètement, les groupes de contrôle homogène de cette étude sont construits à partir des quantiles de la distribution des probabilités prédites. Chaque entreprise se voit alors attribuer la probabilité empirique d'être contrôlée observée dans son groupe de contrôle homogène.

Une fois estimées les pondérations, nous réalisons des estimations par domaines afin de tenir compte de l'hétérogénéité des comportements de fraude, au sens des redressements notifiés semblables de par leur motif et/ou le montant éludé. Ce découpage en domaines permet d'extrapoler directement les montants de fraude en leur sein, en s'appuyant sur une hypothèse de comportement de fraude homogène des entreprises qui les constituent. Deux estimateurs classiques de la théorie des sondages sont utilisés : l'estimateur par le ratio et l'estimateur par la moyenne. Afin de s'abstraire de la durée des contrôles, ceux-ci sont calculés sur la base d'informations mensualisées issues des contrôles, puis extrapolés en tenant compte de la durée réelle des exercices comptables des entreprises redevables de la TVA. Enfin, les estimations par domaine sont ensuite agrégées pour obtenir une estimation du montant total de TVA manquant.

Une autre méthode répandue permettant de prendre en compte le biais de sélection (des entreprises contrôlées) est le modèle de Heckman ([Heckman \(1976, 1979\)](#)). A la différence des méthodes précédemment mentionnées, ce modèle permettrait de prendre en compte les phénomènes de sélection liées aux caractéristiques inobservables affectant le fait d'être contrôlée et le montant de redressement. Cependant, mettre en œuvre cette méthodologie nécessiterait de disposer d'une variable dite d'exclusion, qui impacte le processus de sélection, et pas directement le phénomène d'intérêt. Dans le contexte du contrôle fiscal (et des données à notre disposition), il n'a pas été possible d'identifier une variable disponible dans les données qui impacte la décision de contrôler une entreprise, mais pas directement sa propension à frauder. La mise en place de contrôles aléatoires permettrait de construire une telle variable d'exclusion. Sans variable d'exclusion à notre disposition, nous n'avons pu la mettre en œuvre.

Nous revenons dans les sous-parties suivantes plus en détail sur la méthodologie. Tout d'abord, nous précisons la pertinence et la construction des groupes de contrôle homogènes, puis notre estimation des pondérations à partir de la probabilité d'être contrôlée, avant d'explicitier la méthode de calibrage ainsi que les mesures de performance des algorithmes de *machine learning* utilisés, qui conduiront à la sélection d'un algorithme pour estimer la probabilité d'être contrôlée (parties [2.1.1](#) à [2.1.3](#)). Nous détaillons ensuite comment sont effectuées nos estimations à partir de l'échantillon des entreprises contrôlées et des probabilités d'inclusion estimées. La partie [2.2.1](#) explicite ainsi le choix et la constitution des domaines, puis les parties [2.2.2](#) à [2.2.5](#) détaillent formellement les estimateurs associés et les intervalles de confiance correspondants. Enfin, une dernière partie ([2.3](#)) discute de la prise en compte des redressements d'ampleur exceptionnelle dans l'extrapolation.

Cette méthodologie est appliquée de façon analogue aux trois sous-populations correspondant aux trois sous-ensembles d'entreprises dont le contrôle dépend de chacun des trois niveaux d'administrations décrits précédemment. Cette implémentation distincte d'une méthodologie commune permet la mise en évidence de déterminants propres à chacune de ces sous-populations, tout en garantissant la lisibilité de la méthode en appliquant une approche identique.

2.1 Estimation des pondérations par groupes de contrôle homogène

Comme le soulignent [Haziza et Beaumont \(2007\)](#), s'appuyer sur le seul échantillon des entreprises contrôlées pour obtenir un estimateur convergent de la pondération expose au risque de surapprentissage. Les probabilités prédites d'être contrôlée risquent d'être trop adaptées aux seules entreprises effectivement contrôlées et non à la réelle probabilité de contrôle sous-jacente. Pour contourner cette difficulté, il est d'usage de créer des groupes de contrôle homogène (GCH), au sein desquels les entreprises ont des probabilités d'être contrôlée par l'administration fiscale semblables, mais qu'on peut considérer comme indépendantes.

Les GCH sont ici déterminés à partir des probabilités d'être contrôlée prédites par des méthodes de *machine learning* basées sur des arbres de décision¹⁷. Ces méthodes de classification découpent par étapes successives l'échantillon considéré en groupes, sur la base des variables auxiliaires les plus corrélées au fait d'être contrôlées, par ordre d'intensité de la corrélation, et tant que les groupes obtenus sont de taille suffisante. Ces méthodes permettent également d'intégrer de façon sous-jacente des facteurs économiques importants tels que la taille de l'entreprise, permettant de retracer au moins partiellement l'hétérogénéité de nature des entreprises françaises, en plus de leur propension à être contrôlées par l'administration fiscale. L'utilisation d'algorithmes de *machine learning* apparaît dans notre cas particulièrement pertinente¹⁸. En effet, la décision de mener un contrôle sur une entreprise est prise sur la base d'un programme de contrôle qui est partiellement alimenté par un algorithme de détection de situations susceptibles d'être liées à un comportement de fraude, ainsi que sur l'expertise des contrôleurs fiscaux. Ces derniers sont en mesure de lister des déterminants du contrôle, mais insistent sur la difficulté de formaliser une règle de décision systématique. Faire appel à des méthodes de *machine learning* apparaît donc préférable à des approches économétriques plus traditionnelles afin de tenir compte au mieux de la complexité du processus de sélection, sans que ses déterminants ne soient interprétés ou même explicités.

La convergence asymptotique de l'estimateur utilisé ensuite dépend de la crédibilité, pour la population considérée, des hypothèses (i) d'indépendance des contrôles et (ii) d'une probabilité de contrôle sous-jacente identique au sein de chaque GCH. Parmi les entreprises dont le contrôle dépend de la DVNI ou des Dircofi, les contrôleurs qui se répartissent les contrôles sont assez nombreux pour contrôler quelques centaines de milliers d'entreprises (plus de 12 % des entreprises contrôlées en 2012, cf Tableau 5), mais les contrôles sont relativement peu ciblés (à peu près la moitié des entreprises contrôlées se voient notifier un montant positif de TVA) ; dans ce cas, il peut être crédible de considérer les probabilités de contrôle des entreprises comme semblables, mais plus discutable de les considérer comme indépendantes : vu le relativement faible nombre d'entreprises, et les moyens limités, le fait qu'un contrôleur contrôle une entreprise impacte directement et négativement la probabilité

17. En pratique, il est d'usage dans le cadre du redressement de la non-réponse par repondération dans les enquêtes auprès des entreprises de déterminer les groupes de réponse homogènes par des méthodes de *machine learning* basées sur des arbres de décision.

18. Même si l'utilisation d'algorithmes de *machine learning* est appropriée à notre problématique, elle ne permet en revanche pas de traiter des problèmes d'hétérogénéité inobservée.

qu'il contrôle une entreprise analogue, faute de temps. À l'inverse, parmi les entreprises contrôlées par les directions locales, (à peine plus de 1 % des entreprises sont contrôlées en 2012, cf Tableau 5), le très grand nombre d'entreprises redevables de la TVA rapporté au nombre limité de contrôleurs rend l'hypothèse d'indépendance des contrôles crédible, mais leur similitude au sein d'un groupe de contrôle homogène plus discutable du fait que les contrôles sont mieux ciblés par l'administration fiscale.

La méthode des groupes de contrôle homogène est cependant considérée comme relativement robuste en pratique. En effet, l'estimateur corrigé est approximativement sans biais même si les hypothèses sur lesquelles repose la méthode ne sont pas complètement valides. Il est possible de montrer que le biais de l'estimateur obtenu avec des GCH est nul si la corrélation entre la variable d'intérêt dont on estime le total et la probabilité de contrôle des unités est nulle dans chaque groupe. Il est également important de noter que chaque groupe doit contenir suffisamment d'unités (entreprises contrôlées et non contrôlées) pour que la probabilité de contrôle commune soit estimée correctement. Il n'existe pas de règle autre qu'empirique concernant la taille minimale des groupes : il est recommandé que chaque groupe contienne au moins 100 unités, et d'éviter dans tous les cas les groupes contenant moins de 50 unités.

Nous allons donc faire appel à des méthodes de *machine learning* plutôt qu'à des méthodes économétriques pour prédire la probabilité de contrôle, celle-ci ayant besoin d'être prédite au mieux, mais sans que les déterminants de la prédiction ne soient interprétés ou même connus. De cette façon, les probabilités de contrôle des entreprises seront déterminées de façon fine (plusieurs centaines de GCH selon les algorithmes) et indépendamment des domaines qui seront constitués ensuite afin de recréer des ensembles d'entreprises homogènes en termes de comportement de fraude à partir desquels seront extrapolés les montants de redressement notifiés.

2.1.1 Algorithmes d'apprentissage supervisé

Plusieurs algorithmes d'apprentissage supervisé seront implémentés dans chaque sous-population, et leurs performances comparées, afin de retenir le plus approprié¹⁹. Classiquement, chaque algorithme est d'abord entraîné sur un sous-échantillon de la population totale, appelé échantillon d'entraînement, et ses paramètres sont calibrés par validation croisée. Les performances de l'algorithme sont ensuite évaluées sur le reste de la population - ou échantillon test. Dans notre étude, les sous-échantillons d'entraînement de chacune des trois sous-populations regroupent 60 % des entreprises de chaque sous-population considérée (entreprises contrôlées par la DVNI, les Dircofi et les directions locales). Il en résulte que les échantillons test comportent chacun 40 % des sous-populations étudiées. Pour chaque algorithme, les paramètres sont calibrés par validation croisée ; pour ce faire, le sous-échantillon d'entraînement est partitionné aléatoirement en dix sous-ensembles de taille identique. Pour une séquence de valeurs du paramètre à calibrer, l'algorithme est entraîné séparément sur une combinaison de neuf sous-ensembles, et ses performances évaluées sur le dixième sous-ensemble restant²⁰. Pour chaque valeur d'un paramètre à calibrer, on retient sa performance moyenne sur les dix séquences d'entraînement-validation, puis on retient la valeur du paramètre qui conduit à la meilleure performance moyenne. Les performances (basées sur plusieurs indicateurs cette fois-ci) de l'algorithme ainsi calibré sur le sous-échantillon d'entraînement sont ensuite évaluées sur l'échantillon test.

19. L'ensemble de ces algorithmes a été implémenté à l'aide du package *Caret* du logiciel R, Kuhn (2020).

20. Le critère de performance retenu pour le choix d'un algorithme est l'aire sous la courbe ROC (*Receiver Operating Characteristic*). Une courbe ROC est un graphique représentant les performances d'un modèle de classification pour tous les seuils de classification. Plus précisément, cette courbe trace le taux de vrais positifs en fonction du taux de faux positifs, en fonction des seuils de classification.

Plusieurs algorithmes d'apprentissage sont testés séparément sur chaque sous-population : un algorithme d'apprentissage par arbre de classification, des méta-algorithmes de *bagging* d'arbres de classifications, de forêts aléatoires et de *boosting*, ainsi qu'une régression pénalisée elastic-net (cf. Annexe A pour une présentation succincte de chaque algorithme). Les variables retenues comme déterminants du contrôle fiscal sont principalement des ratios comptables issus des déclarations de TVA. Comme le soulignent Haziza *et al.* (2020), il convient en effet à cette étape de privilégier des variables explicatives disponibles corrélées au fait d'être contrôlée et aux montants éventuels de redressement. Dans notre étude, les principaux déterminants du contrôle fiscal retenus sont :

- la TVA brute totale déclarée,
- les acquisitions intracommunautaires rapportées à la TVA brute totale,
- les livraisons intracommunautaires rapportées à la TVA brute totale,
- la TVA déductible rapportée à la TVA brute totale,
- le chiffre d'affaires réalisé à l'exportation rapporté à la TVA brute totale,
- la TVA déductible sur les biens constituant des immobilisations rapportée à la TVA déductible,
- les crédits antérieurs non imputés et non remboursés rapportés à la TVA déductible,
- la TVA à déduire "autre"²¹ rapportée à la TVA déductible.

Plusieurs années de déclaration sont retenues pour ces différentes grandeurs : 2011, 2012 et 2013, soit l'année considérée pour notre estimation (2012) ainsi que les années précédente et suivante²². En ce qui concerne le montant de TVA brute déclaré la variable retenue correspond à un montant mensuel moyen sur chaque exercice comptable considéré, c'est à dire le montant total déclaré sur l'année (qui est le montant disponible dans nos bases de données issues de la DGFIP) rapporté à la durée de l'exercice comptable déclaré correspondant. Puis, pour chaque entreprise et pour chaque information comptable, la valeur moyenne déclarée sur la période 2011-2013 est retenue comme variable explicative dans les algorithmes testés. Toutes ces variables sont discrétisées à partir de leur distribution dans l'échantillon test. Plus précisément, pour chaque variable, une modalité regroupe les déclarations d'un montant nul de TVA brute totale et les valeurs manquantes si le ratio correspondant n'est pas défini. Les autres modalités sont définies à partir des quantiles de chaque distribution. Enfin, sont aussi intégrés aux algorithmes le secteur d'activité de l'entreprise (sur 21 positions) et sa catégorie juridique, et pour les entreprises dont le contrôle fiscal dépend des directions locales le régime d'imposition en distinguant le régime réel normal et le régime simplifié²³.

2.1.2 Problème d'échantillon déséquilibré : application de SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling TEchnique)

Les qualités prédictives d'un algorithme sont cependant souvent réduites lorsque le nombre d'évènements étudiés, ici le contrôle, est rare dans la population considérée. Le nombre d'entreprises contrôlées au titre de la TVA est en effet faible au regard du nombre d'entreprises redevables, en particulier dans le cas des entreprises dont le contrôle fiscal dépend des directions locales. Les entreprises contrôlées constituent ainsi une *classe minoritaire*, au contraire des entreprises redevables de la TVA mais non contrôlées qui sont *majoritaires*. Il est d'usage d'utiliser dans ce cas de figure des techniques de rééquilibrage de l'échantillon d'entraînement, afin de rendre les déterminants du contrôle d'une entreprise plus détectables dans les données.

21. dont régularisation sur de la TVA collectée ou déductible.

22. L'extension de la période de déclaration considérée (par exemple en incluant aussi les déclarations de 2010 et 2014) ne modifie pas les résultats.

23. Les entreprises au régime de la franchise en base de TVA n'effectuent pas de déclaration et ne sont pas incluses dans la population d'entreprises considérées dans cette étude.

Les principales techniques de rééquilibrage d'échantillon sont le sur-échantillonnage de la classe minoritaire, et le sous-échantillonnage de la classe majoritaire. Le sur-échantillonnage consiste à accroître le nombre d'observations d'entreprises de la classe minoritaire (c'est-à-dire le nombre d'entreprises contrôlées dans notre cas), par un tirage aléatoire avec remise parmi les entreprises de cette classe. De façon analogue, le sous-échantillonnage de la classe majoritaire (dans notre cas les entreprises redevables de la TVA qui ne sont pas contrôlées) consiste en le retrait aléatoire d'entreprises de cette classe, afin de réduire sa taille relativement à celle de la classe minoritaire. Sous-échantillonner la classe majoritaire permet souvent d'obtenir des algorithmes plus performants qu'en sur-échantillonnant la classe minoritaire (cf [Chawla et al. \(2002\)](#) pour une revue de littérature sur le sujet), mais présente l'inconvénient d'écarter une partie de l'information disponible. Par ailleurs, sur-échantillonner la classe minoritaire par tirage aléatoire avec remise conduit à répéter strictement des observations identiques, ce qui accroît mécaniquement le risque de surapprentissage.²⁴

Afin de contourner cette difficulté, [Chawla et al. \(2002\)](#) ont développé une méthode de sur-échantillonnage qui consiste à accroître le nombre d'observations de la classe minoritaire, non par un simple tirage aléatoire avec remise mais à partir d'entreprises *synthétiques*, c'est-à-dire d'observations créées à partir des entreprises contrôlées existantes par combinaison linéaire des caractéristiques des *k-plus-proches-voisins*. Contrairement au sur-échantillonnage, cela permet de donner d'autres contours à la région de positifs à prédire : elle est plus large, contient des individus (réels et synthétiques) mieux répartis dans la région à prédire, et permet ainsi une meilleure généralisation. Il s'agit de l'algorithme SMOTE²⁵. Il donne à l'utilisateur la possibilité de sous-échantillonner la classe majoritaire, tout en créant des observations synthétiques pour la classe minoritaire : dans un souci d'implémentation et pour ne pas avoir des temps de calculs trop longs, nous avons fait le choix de combiner les deux. Chaque échantillon d'entraînement sera rééquilibré avant de calibrer les paramètres des algorithmes testés.

2.1.3 Mesures d'ajustement adaptées à un échantillon déséquilibré

Une fois l'algorithme entraîné, ses performances sont calculées à partir de l'échantillon test correspondant à la population étudiée. Classiquement, dans le cadre d'une classification d'un événement binaire, celles-ci sont mesurées en s'appuyant sur les mesures d'ajustement associées à la courbe ROC. En effet, chaque algorithme testé attribue une probabilité d'être contrôlée aux entreprises de l'échantillon test. Une règle de décision (une probabilité de survenue supérieure à 50 % par exemple) permet d'associer à chaque entreprise une prédiction binaire (oui ou non) sur un éventuel contrôle fiscal. Dès lors, les performances d'un algorithme sont issues de la comparaison des entreprises qui ont été effectivement contrôlées (« Positif ») et celles qui ne l'ont pas été (« Négatif »), avec leurs prédictions respectives par l'algorithme. On distingue alors les faux positifs (c'est-à-dire les entreprises prédites comme contrôlées, à tort) et les faux négatifs (c'est-à-dire les entreprises prédites comme non contrôlées, à tort) des prédictions correctes (vrais positif et négatif) au sein de chaque groupe.

24. On parle de surapprentissage lorsqu'un modèle se construit si précisément sur les données d'apprentissage qu'il ne se généralise pas correctement sur l'échantillon test. Par ailleurs, utiliser simultanément un sous-échantillonnage de la classe majoritaire et un sur-échantillonnage de la classe minoritaire ne semble pas améliorer les performances d'un simple sous-échantillonnage de la classe majoritaire.

25. L'algorithme SMOTE est disponible sous le logiciel R dans le package *DMwR* "Data Mining with R", [Torgo \(2010\)](#).

Tableau 7 – Matrice de confusion

	Négatifs prédits	Positifs prédits
Négatifs observés	VN (<i>Vrais Négatifs</i>)	FP (<i>Faux Positifs</i>)
Positifs observés	FN (<i>Faux Négatifs</i>)	VP (<i>Vrais Positifs</i>)

Plusieurs mesures d’ajustement, calculées à partir de la matrice de confusion (cf. tableau 7) associée à la règle de décision choisie, existent. Le rappel (ou sensibilité) mesure la proportion de contrôles prédits parmi les contrôles effectivement réalisés :

$$\text{rappel/sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN}$$

La spécificité mesure à l’inverse la proportion d’absence de contrôles prédits parmi les entreprises non contrôlées :

$$\text{spécificité} = \frac{VN}{VN + FP}$$

Ces deux grandeurs reflètent le nécessaire compromis qu’impose un problème de classification binaire et que la courbe ROC permet justement d’illustrer, en représentant ces deux grandeurs pour différentes valeurs de seuils. Une autre mesure d’ajustement est aussi reportée dans cette étude : la précision. Cette mesure quantifie la proportion d’entreprises effectivement contrôlées parmi celles qui se sont vues prédire un contrôle fiscal.

$$\text{précision} = \frac{VP}{VP + FP}$$

Ces différentes mesures d’ajustement sont adaptées à des échantillons déséquilibrés comme le sont nos échantillons test (qui ne sont pas rééquilibrés par l’algorithme SMOTE). Néanmoins, nous reporterons aussi la précision de la prédiction qui reflète la proportion de prédictions correctes, bien que cette mesure soit particulièrement sensible à la proportion d’entreprises qui connaissent un contrôle²⁶.

$$\text{précision de la prédiction} = \frac{VP + VN}{VP + FP + VN + FN}$$

Les performances des différents algorithmes testés sont ensuite comparées pour sélectionner le plus performant.

2.1.4 Groupes de contrôle homogène et pondérations

Les groupes de contrôle homogène sont construits à partir des quantiles de la distribution, pour les entreprises contrôlées, des probabilités d’être contrôlée prédites par l’algorithme choisi. Se restreindre à la distribution obtenue sur les seules entreprises contrôlées assure que chaque GCH comporte un minimum d’entreprises de l’échantillon. En pratique, 50 GCH ont été constitués pour les entreprises dépendant de la DVNI et des Dircofi et 100 pour les entreprises dépendant des directions locales.

26. Par exemple, comme moins de 2 % d’entreprises sont contrôlées par les directions locales, une prédiction systématique de l’absence de contrôle pour toutes les entreprises de cette sous population conduit à obtenir une précision de 98 %, alors même que l’algorithme ne détecte aucun déterminant.

Chaque entreprise k voit alors sa probabilité d'inclusion π_k repondérée par la probabilité de contrôle de son groupe de contrôle homogène $p_{GCH(k)}$, qui n'est autre que la probabilité empirique de contrôle observée dans le GCH. On rappelle qu'on considère que $\pi_k = 1 \forall k$, on note $N_{GCH(k)}$ le nombre d'entreprises du GCH, $n_{GCH(k)}$ le nombre d'entreprises effectivement contrôlées au sein de ce GCH et on appelle w_k la pondération de l'entreprise k ; on a alors :

$$w_k = \frac{1}{\pi_k p_{GCH(k)}} = \frac{1}{p_{GCH(k)}} = \frac{N_{GCH(k)}}{n_{GCH(k)}}$$

2.2 Partition en domaines et extrapolation

Une fois déterminées les pondérations pour toutes les entreprises à partir des GCH, il est possible d'estimer le montant total de TVA non recouvré. Afin de tenir compte de l'hétérogénéité des comportements de fraude, notre estimation par sous-population s'appuie sur des estimations séparées par domaines. Dans cette partie, nous précisons tout d'abord comment sont construits ces domaines (partie 2.2.1), avant de détailler les estimateurs par le ratio et par la moyenne qui y sont appliqués (parties 2.2.2 à 2.2.5).

2.2.1 Domaines retenus pour l'estimation

Une fois estimées les pondérations de chaque entreprise, l'estimation totale des montants manquants de TVA est obtenue par somme des estimations réalisées sur une partition de la population en domaines. Passer par une partition de la population en domaines a un intérêt quand on choisit pour créer ces domaines une ou plusieurs variables positivement corrélée(s) à la variable d'intérêt à extrapoler. Plus la corrélation est importante, plus les domaines retenus conduisent à une différenciation importante des comportements de fraude entre eux, et à une homogénéité de ces comportements en leur sein. La constitution des domaines retenus ici s'appuiera sur des caractéristiques observées. Dès lors, rappelons qu'elle ne saurait tenir compte de l'hétérogénéité inobservée des comportements de fraude, et qu'elle ne permet pas non plus de connaître l'ampleur du biais en résultant dans nos estimations.

L'intérêt d'avoir estimé des probabilités de réponse sur des GCH assez fins, est justement de pouvoir procéder à l'extrapolation en utilisant ces probabilités de contrôle, mais sur des domaines parcimonieux qu'on choisira donc corrélés plutôt à des déterminants du fait de se faire notifier des montants de redressement de TVA (conditionnellement au fait d'être contrôlé). Nous retiendrons pour chaque sous-population un nombre limité de domaines, afin que ceux-ci soient suffisamment larges pour nous appuyer sur les propriétés asymptotiques des estimateurs considérés.

Quantiles de TVA brute déclarée Comme le soulignaient déjà les tableaux 5 et 6, les montants et les taux de redressements prononcés à l'encontre des entreprises contrôlées sont corrélés aux montants de TVA brute déclarés. Si, en moyenne, le montant de redressement augmente avec le montant de TVA brute, le taux de redressement, à l'inverse, diminue. Ce constat suggère donc de considérer une première partition de la population en domaines construite à partir des quantiles de la distribution de TVA brute déclarée. Pour chaque sous population, nous constituons donc des domaines définis par les quantiles d'ordre cinquante de la distribution de TVA brute déclarée. Cette partition permet par ailleurs comme nous le verrons dans la section des résultats d'isoler dans un unique domaine les entreprises dépendant des directions locales qui déclarent un TVA brute nulle.

Nomenclature d'Activités Française (Naf) Une autre approche mise en œuvre dans

cette étude consiste à construire les domaines à partir des principaux déterminants d'un redressement. Pour les identifier, nous estimons, sur l'échantillon des seules entreprises contrôlées par l'administration fiscale, une régression logistique avec pénalisation LASSO sur l'indicatrice de notification d'un redressement positif. La pénalisation LASSO est fréquemment utilisée pour sélectionner des variables explicatives en présence d'un très grand nombre de variables potentielles. Il s'agit d'une régression (logistique dans notre cas, mais qui peut également être linéaire), dans l'estimation de laquelle une contrainte est ajoutée afin de limiter le nombre de variables explicatives dont les coefficients seront effectivement estimés. Cette contrainte permet de sélectionner parmi les variables explicatives celles dont le coefficient de régression associé est important, forçant les coefficients des paramètres ayant les plus faibles contributions à zéro. Plus la pénalité est élevée, plus la contrainte sera forte et moins un nombre important de variables sera retenu (voir annexe B pour la formalisation). Nos estimations mettent principalement en évidence l'importance du secteur d'activité²⁷ dans la probabilité d'être redressée une fois contrôlée, quelle que soit la sous-population considérée. Nous choisissons donc également de réaliser une extrapolation à partir de domaines définis par les sections de la nomenclature d'activité française (21 positions).

2.2.2 Estimateur par le ratio

Nous choisissons dans un premier temps d'implémenter un estimateur par le ratio pour réaliser nos estimations, pour plusieurs raisons. D'abord, cet estimateur s'appuie sur de l'information auxiliaire, et est particulièrement performant quand cette variable auxiliaire (qui doit être parfaitement connue dans la population) est *a priori* corrélée avec la variable d'intérêt à extrapoler. Dans notre cas, nous choisissons comme variable auxiliaire le **montant de TVA brute déclarée** par les entreprises : celle-ci est connue pour l'ensemble des redevables de la TVA (sauf évidemment dans le cas d'une activité non déclarée), et est très corrélée aux montants de redressement notifiés. Par ailleurs, cet estimateur avait déjà été utilisé dans la précédente estimation réalisée dans le document de travail de Claudie Louvot (Louvot (2011)). L'estimateur par le ratio²⁸ est un estimateur asymptotiquement sans biais sous certaines hypothèses et notamment l'absence d'endogénéité de la sélection. Puisque même sous cette hypothèse, l'estimateur par le ratio est biaisé à distance finie, nous l'appliquons à des domaines suffisamment larges.

Par souci de simplicité, on se place dans l'une des trois sous-populations qu'on appelle $\mathbf{U}$. On note y_k le montant notifié de redressement d'une entreprise k (potentiellement nul) sur la période contrôlée de l'année considérée (au plus 12 mois) et x_k la base imposable correspondant à la même période. La sous-population $\mathbf{U}$ est partitionnée en H domaines $U_1, \dots, U_H$, et l'échantillon $\mathbf{S}$ également ($S_1, \dots, S_H$).

Soit $\mathbf{X}_h$ le total de la TVA brute déclarée pour l'année considérée dans la population du domaine U_h (connu). On note également $\mathbf{Y}_h$ le total des montants notifiés au titre de cette même année dans la population du domaine U_h (inconnu celui-ci, puisque seules les entreprises de l'échantillon (i.e. contrôlées) se voient éventuellement notifier des montants de redressement par l'administration fiscale).

On note respectivement $\widehat{T_{Y_h R}}$ et $\widehat{T_{X_h R}}$ les estimateurs d'Horvitz-Thompson repondérés des totaux dans le domaine U_h des y_k et des x_k , pour l'année considérée, à partir des poids de sondage repondérés w_k obtenus à l'étape précédente (cf. 2.1.4). Ces estimateurs sont des estimateurs asymptotiquement sans biais.

27. Parmi les autres déterminants, notons aussi la présence de quelques catégories juridiques.

28. cf. note méthodologique Sautory (2018).

Par conséquent, les estimateurs d'Horvitz-Thompson des totaux sont définis comme suit :

$$\widehat{T_{Y_h R}} = \sum_{k \in s_h} w_k y_k \quad \text{et} \quad \widehat{T_{X_h R}} = \sum_{k \in s_h} w_k x_k$$

L'estimateur par le ratio du total des y_k dans un domaine U_h , $\widehat{T_{Y_h ratio}}$, corrige l'estimateur d'Horvitz-Thompson repondéré du total $\widehat{T_{Y_h R}}$ par le ratio $\frac{\mathbf{X}_h}{\widehat{T_{X_h R}}}$ qui mesure l'écart entre l'estimation du total des x_k , et sa vraie valeur qui est connue. En revanche le ratio qui donne son nom à l'estimateur est le ratio du total des y_k rapporté au total des x_k . L'estimateur par le ratio du total des y_k dans le domaine U_h s'écrit comme suit :

$$\widehat{T_{Y_h ratio}} = \widehat{T_{Y_h R}} \frac{\mathbf{X}_h}{\widehat{T_{X_h R}}} = \mathbf{X}_h \frac{\widehat{T_{Y_h R}}}{\widehat{T_{X_h R}}} = \mathbf{X}_h \hat{\mathbf{R}}_h$$

Le ratio $\hat{\mathbf{R}}_h$ défini comme étant le rapport de l'estimateur d'Horvitz-Thompson repondéré du total des y_k sur l'estimateur d'Horvitz-Thompson repondéré du total des x_k dans le domaine U_h est l'estimateur du "vrai" ratio $\mathbf{R}_h$.

On estime enfin le total de la variable y dans la sous-population considérée par la somme des estimateurs par le ratio estimés sur chaque domaine de cette sous-population :

$$\widehat{T_{Y ratio}} = \sum_{h=1}^H \mathbf{X}_h \hat{\mathbf{R}}_h$$

L'estimateur par le ratio est un cas particulier d'estimateur par calage sur marge.

Le ratio de redressement dans un domaine est donc égal au quotient du montant total de redressement des entreprises contrôlées du domaine rapporté au total de TVA brute déclarée sur la période contrôlée. Puis, notre estimation du montant total est obtenue en multipliant le ratio estimé par la TVA brute totale déclarée par les entreprises du domaine considéré. Finalement, le montant total estimé s'obtient simplement par somme des trois estimateurs des totaux correspondant à chaque sous-population, ces trois estimateurs étant parfaitement indépendants.

2.2.3 Précision des estimateurs par le ratio et intervalles de confiance

Estimer la variance de l'estimateur du montant total manquant de versements de TVA nécessite plusieurs étapes. Dans un premier temps, pour chaque domaine, la variance de l'estimateur du ratio $\hat{\mathbf{R}}_h$ doit être déterminée. La variance de l'estimateur du total $\widehat{T_{Y ratio}} = \sum_{h=1}^H \mathbf{X}_h \hat{\mathbf{R}}_h$ se calcule ensuite comme la variance d'une somme de variables aléatoires, indépendantes, car les domaines sont une partition de la population totale et que le total de la TVA brute déclarée $\mathbf{X}_h$ est connu.

La variance du ratio $\hat{\mathbf{R}}_h$ n'est pas d'expression connue, car il s'agit de la variance d'un ratio de variables aléatoires. Deux approches peuvent cependant être implémentées pour l'estimer (voir [Särndal *et al.*, 2003](#), pour des explications détaillées). La première consiste à s'appuyer sur une expression approchée de la variance théorique et d'en déterminer une estimation par des techniques de linéarisation de Taylor. La deuxième approche s'appuie sur une estimation obtenue par des méthodes empiriques faisant appel à des simulations (type *jackknife* ou *bootstrap*). Dans cette partie méthodologique, nous rappelons pour un

domaine donné la forme de l'estimateur de la variance approximative par linéarisation de Taylor de l'estimateur par le ratio, et c'est de cet estimateur que découleront les estimations de variances qui figurent dans les résultats présentés dans la suite de ce document. Néanmoins, des estimations par *bootstrap* ont aussi été réalisées et fournissent des résultats très similaires.

On rappelle que N est la taille de la sous-population considérée, (et n la taille de l'échantillon correspondant) et on note $f = \frac{n}{N}$ le taux de sondage dans la sous-population. On définit par ailleurs un poids de l'entreprise k relatif au domaine U_h considéré :

$$v_{h,k} = w_k I_{U_h}(k) = w_k I(k \in U_h)$$

Dans un domaine U_h de la sous-population U considérée, on a donc comme estimateur de la variance la formule suivante :

$$\hat{V}(\hat{\mathbf{R}}_h) = \frac{N(1-f)}{N-1} \sum_{k \in U} (g_{h,k} - \bar{g}_h)^2$$

$$g_{h,k} = \frac{v_{h,k}(y_k - x_k \hat{\mathbf{R}}_h)}{\sum_{k \in U} v_{h,k} x_k}$$

$$\bar{g}_h = \frac{1}{N} \sum_{k \in U} g_{h,k}$$

On note par ailleurs $\hat{\sigma}$ l'estimateur de l'écart-type associé à l'estimateur de la variance défini ci-dessus :

$$\hat{\sigma}(\hat{\mathbf{R}}_h) = \sqrt{\hat{V}(\hat{\mathbf{R}}_h)}$$

Afin de calculer un intervalle de confiance associé à chaque ratio estimé, on considère que le ratio suit une loi normale²⁹. On note $q_{\frac{\alpha}{2}}$ le quantile d'ordre $\alpha/2$ de la loi normale centrée réduite. Alors l'intervalle de confiance bilatéral de niveau $(1 - \alpha)$ de l'estimateur du ratio dans un domaine U_h au sein d'une sous-population donnée est ainsi défini comme suit :

$$IC(\hat{\mathbf{R}}_h)_{(1-\alpha)} = \left[\hat{\mathbf{R}}_h - \hat{\sigma}(\hat{\mathbf{R}}_h) q_{\frac{\alpha}{2}}; \hat{\mathbf{R}}_h + \hat{\sigma}(\hat{\mathbf{R}}_h) q_{\frac{\alpha}{2}} \right]$$

On en déduit dans un second temps un estimateur de la variance du total estimé sur le domaine ainsi que l'intervalle de confiance associé, en nous appuyant sur le déterminisme du total de la variable x_k (connu) dans chaque domaine. On se passe également de valeur absolue dans l'écart-type estimé de l'estimateur par le ratio du total au sein d'un domaine en s'appuyant sur le fait que les montants x_k sont positifs ou nuls.

$$\widehat{\hat{V}(T_{Y_h ratio})} = \mathbf{X}_h^2 \hat{V}(\hat{\mathbf{R}}_h) \quad \text{et} \quad \widehat{\hat{\sigma}(T_{Y_h ratio})} = \mathbf{X}_h \sqrt{\hat{V}(\hat{\mathbf{R}}_h)} = \mathbf{X}_h \hat{\sigma}(\hat{\mathbf{R}}_h)$$

29. Le logiciel SAS considère que l'estimateur suit une loi de Student, dont le nombre de degrés de liberté est égal au nombre d'observations de chacun des domaines, moins un. En pratique, le nombre de degrés de liberté est important compte tenu de la grande taille des domaines, la loi de Student peut donc être raisonnablement approchée par une loi normale.

$$IC(\widehat{T_{Yratio}})_{(1-\alpha)} = \left[\mathbf{X}_h \hat{\mathbf{R}}_h - \mathbf{X}_h \hat{\sigma}(\hat{\mathbf{R}}_h) q_{\frac{\alpha}{2}}; \mathbf{X}_h \hat{\mathbf{R}}_h + \mathbf{X}_h \hat{\sigma}(\hat{\mathbf{R}}_h) q_{\frac{\alpha}{2}} \right]$$

On en déduit enfin un estimateur de la variance du total estimé sur la sous-population considérée, ainsi que l'intervalle de confiance associé, basé sur l'hypothèse d'indépendance entre domaines.

$$\hat{V}(\widehat{T_{Yratio}}) = \sum_{h=1}^H \mathbf{X}_h^2 \hat{V}(\hat{\mathbf{R}}_h)$$

$$IC(\widehat{T_{Yratio}})_{(1-\alpha)} = \left[\sum_{h=1}^H \mathbf{X}_h \hat{\mathbf{R}}_h - q_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\sum_{h=1}^H \mathbf{X}_h^2 \hat{V}(\hat{\mathbf{R}}_h)}; \sum_{h=1}^H \mathbf{X}_h \hat{\mathbf{R}}_h + q_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\sum_{h=1}^H \mathbf{X}_h^2 \hat{V}(\hat{\mathbf{R}}_h)} \right]$$

Finalement, la variance s'obtient simplement par somme des trois estimateurs de variances correspondant à chaque sous-population (ces estimateurs étant parfaitement indépendants), puis l'intervalle de confiance associé est recalculé à partir de l'estimateur du total comme une somme d'estimateurs indépendants qui suivent une loi normale ; utilisant l'écart-type qui découle de la variance et le quantile d'une loi normale centrée-réduite conforme au niveau de confiance retenu.

2.2.4 Estimateur par la moyenne

Un inconvénient de l'estimateur par le ratio est qu'il n'est pas défini sur un domaine constitué d'entreprises dont la TVA brute déclarée est nulle. Il est pourtant possible d'extrapoler à un tel domaine un montant de redressement positif simplement en utilisant un autre estimateur. Afin de pallier ce problème, nous choisissons d'implémenter également un estimateur par la moyenne. Il s'agit d'un estimateur asymptotiquement sans biais. Son biais pourra donc être considéré comme nul puisqu'il est appliqué à des domaines suffisamment larges.

Comme nous l'avons souligné dans la partie 1.3, un contrôle fiscal porte le plus souvent sur plusieurs exercices comptables. Le montant de redressement éventuellement notifié à l'issue du contrôle et enregistré dans la base Alpage est certes partitionné par motifs de redressement, mais il n'est nullement fait mention du ou des exercices comptables qui l'ont occasionné. Utiliser directement le montant de redressement notifié aux entreprises contrôlées reviendrait à tenir compte dans nos estimations de l'hétérogénéité de la durée des contrôles fiscaux. Nous passerons donc pour cet estimateur par un montant de redressement *mensuel* moyen pour chaque domaine. Le montant manquant de TVA est ensuite calculé à partir des déclarations comptables des entreprises du domaine, c'est-à-dire, en multipliant le montant mensuel moyen de redressement estimé par la durée des exercices comptables déclarés par les entreprises du domaine considéré. L'interprétation du montant total estimé est alors identique à celle détaillée précédemment pour l'estimateur par le ratio.

Par souci de simplicité, on se place dans l'une des trois sous-populations qu'on appelle $\mathbf{U}$. On note y'_k le montant notifié mensualisé de redressement d'une entreprise k (potentiellement nul), contrôlée au moins un mois l'année considérée. La sous-population $\mathbf{U}$ est partitionnée en H domaines $U_1, \dots, U_H$, et l'échantillon $\mathbf{S}$ également $(S_1, \dots, S_H)$. On utilise à nouveau les poids de sondage repondérés w_k .

L'estimateur de la moyenne des y'_k mensualisés dans un domaine U_h , noté $\widehat{Y}'_h$, s'écrit comme suit :

$$\widehat{Y}'_h = \frac{\sum_{k \in s_h} w_k y'_k}{\sum_{k \in s_h} w_k}$$

On note d_i la durée d'exercice qui figure dans la déclaration de TVA de l'entreprise i de l'année considérée (en mois, et connue pour l'ensemble des entreprises qui ont fait une déclaration de TVA). Dans un soucis de simplification des notations, on définit également $\mathbf{D}_h$ le total des durées d'exercice des entreprises du domaine U_h , pour l'année considérée (mais ce total n'a pas vraiment d'interprétation économique). Par suite, l'estimateur par la moyenne du total des y_k pour l'année considérée sur un domaine U_h , noté $\widehat{T_{Y_h mean}}$, s'écrit comme suit :

$$\widehat{T_{Y_h mean}} = \sum_{i \in U_h} \frac{\sum_{k \in s_h} w_k y'_k}{\sum_{k \in s_h} w_k} d_i = \widehat{Y}'_h \sum_{i \in U_h} d_i = \widehat{Y}'_h \mathbf{D}_h$$

On estime enfin le total de la variable y dans la sous-population considérée par la somme des estimateurs direct du total estimés sur chaque domaine de cette sous-population :

$$\widehat{T_{Y mean}} = \sum_{h=1}^H \widehat{T_{Y_h mean}} = \sum_{h=1}^H \widehat{Y}'_h \mathbf{D}_h$$

Finalement, le montant total estimé s'obtient simplement par somme des trois estimateurs des totaux correspondant à chaque sous-population, ces trois estimateurs étant parfaitement indépendants.

2.2.5 Précision des estimateurs par la moyenne et intervalles de confiance

Comme pour la variance de l'estimateur d'un ratio, l'expression de la variance de l'estimateur d'une moyenne n'est pas connue dès lors que la taille de la population du domaine est aléatoire³⁰. Les deux approches mentionnées dans la partie 2.2.3 pour estimer cette variance peuvent cependant à nouveau être implémentées. Cette fois encore, nous présentons dans cette partie méthodologique l'expression d'un estimateur de la variance approximative de $\widehat{Y}'_h$ obtenue par la technique de linéarisation de Taylor. Les résultats correspondant à cette approche sont ceux qui seront discutés dans la partie consacrée. Des estimations par *bootstrap* ont aussi été implémentées et donnent des résultats similaires.

On rappelle que N est la taille de la sous-population considérée, (et n la taille de l'échantillon correspondant) et on note $f = \frac{n}{N}$ le taux de sondage dans la sous-population. De même, le poids de l'entreprise k relatif au domaine U_h est défini par :

$$v_{h,k} = w_k I_{U_h}(k) = w_k I(k \in U_h)$$

Dans un domaine U_h de la sous-population U considérée, on a comme estimateur de la variance la formule suivante :

$$\hat{V}(\hat{Y}_h) = \frac{N(1-f)}{N-1} \sum_{k \in U} (r_{h,k} - \bar{r}_h)^2$$

30. L'estimateur de la moyenne est en effet, dans ce cas de figure, à nouveau un ratio de variables aléatoires.

$$r_{h,k} = \frac{v_{h,k}(y'_k - \hat{Y}'_h)}{\sum_{k \in U} v_{h,k}}$$

$$\bar{r}_h = \frac{1}{N} \sum_{k \in U} r_{h,k}$$

On note par ailleurs $\hat{\sigma}$ l'estimateur de l'écart-type associé à l'estimateur de la variance défini ci-dessus :

$$\hat{\sigma}(\hat{Y}'_h) = \sqrt{\hat{V}(\hat{Y}'_h)}$$

Afin de calculer un intervalle de confiance associé à chaque ratio estimé, on considère que le ratio suit une loi normale³¹. On note $q_{\frac{\alpha}{2}}$ le quantile d'ordre $\alpha/2$ de la loi normale centrée réduite. L'intervalle de confiance bilatéral de niveau $(1 - \alpha)$ de l'estimateur de la moyenne dans un domaine U_h au sein d'une sous-population donnée est ainsi défini comme suit :

$$IC(\hat{Y}'_h)_{(1-\alpha)} = \left[\hat{Y}'_h - \hat{\sigma}(\hat{Y}'_h)q_{\frac{\alpha}{2}}; \hat{Y}'_h + \hat{\sigma}(\hat{Y}'_h)q_{\frac{\alpha}{2}} \right]$$

On en déduit dans un second temps un estimateur de la variance du total estimé sur le domaine U_h , ainsi que l'intervalle de confiance associé, en nous appuyant sur le déterminisme de la durée d'exercice d_k , connue pour l'ensemble des entreprises ayant fait une déclaration de TVA. On se passe également de valeur absolue dans l'écart-type estimé de l'estimateur par le ratio du total au sein d'un domaine en s'appuyant sur le fait que les durées d_k sont positives ou nulles.

$$\hat{V}(\widehat{T_{Y_h mean}}) = \mathbf{D}_h^2 \hat{V}(\hat{Y}'_h) \quad \text{et} \quad \hat{\sigma}(\widehat{T_{Y_h mean}}) = \mathbf{D}_h \sqrt{\hat{V}(\hat{Y}'_h)} = \mathbf{D}_h \hat{\sigma}(\hat{Y}'_h)$$

$$IC(\widehat{T_{Y_h mean}})_{(1-\alpha)} = \left[\mathbf{D}_h \hat{Y}'_h - \mathbf{D}_h \hat{\sigma}(\hat{Y}'_h)q_{\frac{\alpha}{2}}; \mathbf{D}_h \hat{Y}'_h + \mathbf{D}_h \hat{\sigma}(\hat{Y}'_h)q_{\frac{\alpha}{2}} \right]$$

On en déduit enfin un estimateur de la variance du total estimé sur le domaine ainsi que l'intervalle de confiance associé, basé sur l'hypothèse d'indépendance entre domaines.

$$\hat{V}(\widehat{T_{Y mean}}) = \sum_{h=1}^H \mathbf{D}_h^2 \hat{V}(\hat{Y}'_h)$$

$$IC(\widehat{T_{Y mean}})_{(1-\alpha)} = \left[\sum_{h=1}^H \mathbf{D}_h \hat{Y}'_h - q_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\sum_{h=1}^H \mathbf{D}_h^2 \hat{V}(\hat{Y}'_h)}; \sum_{h=1}^H \mathbf{D}_h \hat{Y}'_h + q_{\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\sum_{h=1}^H \mathbf{D}_h^2 \hat{V}(\hat{Y}'_h)} \right]$$

31. Le logiciel SAS considère que l'estimateur suit une loi de Student, dont le nombre de degrés de liberté est égal au nombre d'observations de chacun des domaines, moins un. En pratique, le nombre de degrés de liberté est important compte tenu de la grande taille des domaines, la loi de Student peut donc être raisonnablement approchée par une loi normale.

Finalement, la variance s'obtient simplement par somme des trois estimateurs de variances correspondant à chaque sous-population (ces estimateurs étant parfaitement indépendants), puis l'intervalle de confiance associé est recalculé à partir de l'estimateur du total comme une somme d'estimateurs indépendants qui suivent une loi normale ; utilisant l'écart-type qui découle de la variance et le quantile d'une loi normale centrée-réduite conforme au niveau de confiance retenu.

2.3 Tenir compte des redressements exceptionnels

Comme nous l'avons souligné (cf. tableau 3), des montants de redressements « exceptionnels » dans leur ampleur au regard de la distribution des montants notifiés chaque année, peuvent être prononcés à l'encontre de quelques entreprises. Intégrer ces observations dans l'échantillon des entreprises contrôlées utilisées pour mener nos estimations peut bien sûr impacter les résultats obtenus. Implicitement, leur prise en compte pose la question de la représentativité de telles observations. Les écarter de l'extrapolation revient à considérer que ces entreprises sont très spécifiques et non représentatives d'un comportement de fraude qui pourrait être extrapolé à d'autres entreprises. En d'autres termes, ces comportements particuliers auraient été tous détectés et redressés. À l'inverse, intégrer les montants de redressement exceptionnels à l'extrapolation revient à extrapoler à d'autres entreprises ce comportement de fraude, ce qui peut significativement augmenter les montants totaux estimés.

Dans notre étude, la détection des « redressements exceptionnels » s'appuie sur une démarche statistique explicitée par Rousseeuw et Hubert (2011). Un score est calculé pour chaque entreprise s'appuyant notamment sur une estimation robuste de l'écart-type, à savoir la médiane des valeurs absolues des écarts à la médiane (MAD, pour *median of all absolute deviations from the median*)³².

$$z_i = \frac{Y_i - \text{médiane}(Y_i)}{MAD(Y_i)}$$

Plus précisément, le score de chaque entreprise redressée est déterminé en fonction de la distribution des redressements prononcés³³ *au sein de son secteur d'activité*. Ce score nous permet ensuite d'identifier les « redressements exceptionnels » comme étant ceux situés dans le haut de la distribution de l'ensemble des scores³⁴, indépendamment du secteur d'activité. Ces observations sont alors écartées de l'estimation. Nous présenterons dans un premier temps les résultats obtenus *en écartant les dix redressements les plus élevés, qualifiés d'"exceptionnels", de chaque sous échantillon des entreprises contrôlées*³⁵, puis dans un second temps, nous discuterons l'impact du nombre de redressements exceptionnels retenus sur nos résultats, justifiant à cette occasion le choix effectué.

32. L'utilisation d'une règle qui s'appuie sur les valeurs d'un score pour détecter les observations particulières est fréquente en statistiques. Usuellement, le score retenu est le z-score qui se définit par $z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s}$ où s désigne l'écart-type. Une telle approche n'est cependant pas la plus robuste, puisque tant la moyenne que l'écart-type sont sensibles à la présence de valeurs extrêmes... qui pourront alors présenter un score malgré tout peu élevé.

33. Les contrôles qui n'ont pas abouti à un redressement sont donc exclus.

34. On notera que nous ne retenons pas la valeur absolue du score pour détecter les remboursements particuliers. Seuls les redressements particulièrement élevés, et non particulièrement faibles, au regard de la distribution des redressements prononcés dans un secteur d'activité seront donc considérés comme exceptionnels.

35. Si les scores sont déterminés en fonction du secteur d'activité de chaque entreprise redressée, les dix observations exclues qui présentent donc les scores les plus élevés, le sont indépendamment de leur secteur d'activité.

3 Résultats

3.1 Estimation des probabilités de contrôle

Nous présentons dans cette section les performances des algorithmes retenus pour prédire les probabilités de contrôle des entreprises pour chaque type d’administration en charge du contrôle fiscal (DVNI, Dircofi et directions locales), ainsi que les raisons qui nous ont poussés à retenir l’algorithme de *boosting*.

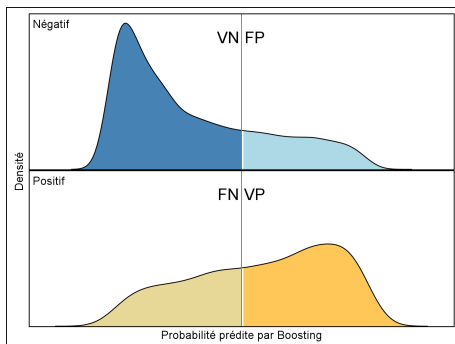
Pour chaque sous population, des algorithmes d’arbre de classification, de *bagging*, de forêts aléatoires, de *boosting* et une régression logistique pénalisée (elastic-net) ont été calibrés par validation croisée puis entraînés sur des échantillons rééquilibrés tirés aléatoirement (cf. sections méthodologiques 2.1.1 et 2.1.2). Les algorithmes calibrés sont ensuite appliqués à un échantillon test afin de quantifier leurs performances prédictives par différents critères d’ajustement (cf. section 2.1.3). Les résultats obtenus pour chaque algorithme, sur chaque sous population, sont présentés de manière exhaustive dans le tableau C.1 situé en annexe.

Dans l’ensemble, pour une sous-population donnée, les performances des différents algorithmes sont assez semblables ; c’est la structure des données (notamment la nature déséquilibrée des données initiales) qui conditionne finalement ce que les algorithmes sont capables de détecter, et pas tant leurs différentes spécifications. Néanmoins, pour les entreprises dont le contrôle fiscal est assuré par les directions locales, l’algorithme de *boosting* présente des performances légèrement supérieures aux autres algorithmes testés sur cette sous-population. Nous retiendrons donc cet algorithme pour estimer l’ensemble des probabilités de contrôle quelle que soit la sous-population considérée, dont nous détaillons ci-dessous les performances.

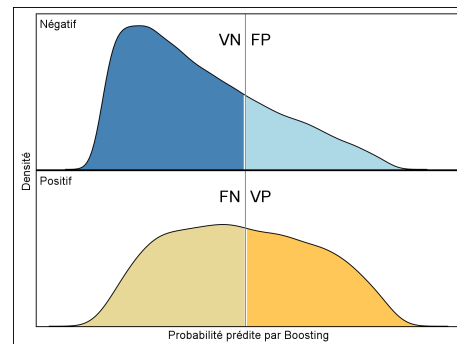
Les graphiques 1a, 1b et 1c représentent les distributions des probabilités estimées pour les entreprises des échantillons test de chaque sous population, en distinguant celles qui ont été effectivement contrôlées (« Positif »), et celles qui ne l’ont pas été (« Négatif »). Une règle de décision (ici, une probabilité prédite supérieure à 50 %) permet de distinguer les faux positifs, et les faux négatifs des prédictions correctes au sein de chaque groupe afin d’analyser les performances des algorithmes³⁶.

36. Les graphiques 7a, 7b et 7c en annexe représentent les courbes ROC pour chaque algorithme de *boosting*. Sur chaque courbe figurent aussi le rappel et la spécificité obtenus en retenant d’autres seuils pour la règle de décision.

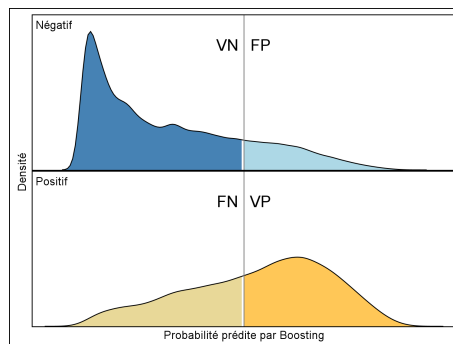
Graphique 1 – Probabilités prédites par *boosting* - Vrais/Faux positifs et négatifs



(a) DVNI



(b) Dircofi



(c) Directions locales

Note : Pour chaque sous-direction, le graphique propose pour les entreprises effectivement contrôlées et non contrôlées, la probabilité de contrôle prédite par la méthode d'apprentissage de *boosting*.

Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFîP, Insee, calcul des auteurs.

Comme explicité dans la section 2.1.3, ces grandeurs permettent de calculer plusieurs critères de performance qui sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8 – Performances des algorithmes de *boosting* de prédiction des probabilités de contrôle

	DVNI	Dircofi	Directions Locales
Précision de la prédiction (<i>Accuracy</i>)	0.727	0.708	0.799
Précision	0.268	0.221	0.060
Rappel/Sensibilité	0.619	0.471	0.608
Spécificité	0.743	0.745	0.803

Note : Chaque colonne présente, pour l’algorithme de *boosting*, les résultats obtenus sur différents critères de performance, pour les trois sous-échantillons de test des sous ensembles de directions fiscales.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

Les algorithmes de *boosting* retenus prédisent avec justesse (cf. *Accuracy*) l’absence ou la réalisation d’un contrôle fiscal respectivement pour 73 %, 71 % et 80 % des entreprises dépendant de la DVNI, des Dircofi et des directions locales. Plus précisément, ils envisagent, respectivement, un contrôle fiscal pour 62 %, 47 % et 61 % des entreprises qui seront effectivement contrôlées par la DVNI, les Dircofi et les directions locales (cf. Rappel/Sensibilité). De même, ils prédisent, respectivement, l’absence de contrôle fiscal pour 74 %, 75 % et 81 % des entreprises qui ne seront effectivement pas contrôlées par la DVNI, les Dircofi et les directions locales (cf. Spécificité). Cependant, nos algorithmes s’avèrent aussi peu « précis » : 27 % et 22 % des prédictions de contrôle fiscal par la DVNI et les Dircofi correspondent à des contrôles qui auront effectivement lieu, et seulement 6 % pour les directions locales.

Ces résultats soulignent que les algorithmes utilisés ont réussi à reproduire, à partir des variables retenues, une partie du processus de sélection des contrôles fiscaux mis en place par l’administration. Cependant les performances quelque peu limitées de nos algorithmes reflètent en partie les difficultés rencontrées par les méthodes de *machine learning* lorsque le nombre d’entreprises contrôlées dans la population totale est faible. De même elles témoignent aussi sans surprise que d’autres éléments connus de l’administration fiscale et non disponibles pour cette étude peuvent être mobilisés pour déterminer l’opportunité d’effectuer un contrôle fiscal, c’est-à-dire l’existence d’une sélection sur des caractéristiques inobservables. Mais surtout, la méthodologie mise en œuvre tout comme les critères de performance utilisés ne tiennent pas compte d’un élément déterminant dans la *réalisation effective* du contrôle, à savoir l’existence de contrôleurs fiscaux en nombre suffisant pour les mener à bien. En effet, quelle que soit la qualité prédictive du modèle retenu, le nombre de contrôles fiscaux effectivement menés sur une année civile dépendra directement des effectifs mobilisables par l’administration fiscale, comme le soulignent en partie, par exemple, les grandes différences de performances mesurées par le rappel et la spécificité. De même, si d’après ses dires, l’administration fiscale privilégie des contrôles fiscaux qui sont particulièrement susceptibles d’aboutir à un redressement fiscal (éventuellement conséquent), elle prend soin aussi chaque année de procéder à des contrôles fiscaux sur des entreprises moins susceptibles de frauder. Ce principe explique certainement aussi les faibles performances des algorithmes retenus au regard des standards associés à ce type de méthode.

Toutefois, l’utilisation d’algorithmes de *machine learning* visait ici, non à prédire avec justesse les contrôles fiscaux effectivement menés, mais à estimer au mieux des probabilités d’être contrôlée pour réduire autant que faire se peut, à partir des informations à notre

disposition, le biais de sélection³⁷. Il s'agissait, en effet, à partir de cette estimation de la probabilité d'être contrôlée de définir des groupes d'entreprises pour lesquelles l'éventualité d'un contrôle fiscal est similaire, afin d'assurer que les entreprises effectivement contrôlées dans un groupe de contrôle homogène soient représentatives en termes de comportement déclaratif de toutes les entreprises du même groupe. Si les performances des algorithmes testés soulignent sans surprise la complexité du processus de sélection des entreprises contrôlées et donc de sa modélisation, la constitution de GCH et l'estimation de la probabilité de contrôle par la probabilité empirique de contrôle au sein des groupes ainsi constitués nous apparaît à même de pallier les faiblesses des algorithmes utilisés, mais pas le fait que les données ne contiennent pas toutes les informations permettant de corriger du biais de sélection.

Nous créons ensuite des GCH à partir de la distribution des probabilités de contrôle estimées par *Boosting*, comme explicité dans la partie 2.2. Cinquante GCH sont donc créés dans chacune des sous-populations dont le contrôle relève des DVNI et des DIRCOFI, sur la base d'un découpage sous forme de quantiles d'ordre 50, tandis que la dernière sous-population est partitionnée selon 100 quantiles de probabilité de contrôle. Les GCH ainsi créés sont assez nombreux tout en étant d'une taille suffisamment importante pour garantir la présence au sein de chaque GCH d'entreprises contrôlées en nombre suffisant, afin de pouvoir recalculer une probabilité empirique de contrôle associée au GCH, puis à attribuer celle-ci à l'ensemble des entreprises de ce GCH.

3.2 Estimations des montants manquants de versements de TVA

Nous présentons maintenant les résultats de nos estimations des montants manquants de TVA pour l'année 2012. Pour chaque sous ensemble de directions fiscales (DVNI, Dircofi et directions locales) et pour chaque domaine, nous réalisons une estimation par le ratio et une estimation par la moyenne.

Les estimations présentées ci-dessous sont supérieures au premier chiffrage annexés au rapport de la Cour des comptes de décembre 2019, qui mentionnait une fourchette autour d'une quinzaine de Md€. Cela tient au développement d'une méthodologie a priori plus robuste, qui permet une meilleure correction du biais de sélection et une prise en compte plus fine de la période des contrôles. En effet, le ratio qui était alors utilisé pour calculer l'estimateur par le ratio rapportait le montant de redressement, pouvant ne correspondre qu'à quelques mois dans l'année, au résultat annuel déclaré. Dans le cas où l'année considérée n'est que partiellement contrôlée, ce ratio était mécaniquement plus faible que celui aujourd'hui retenu, qui rapporte deux grandeurs rattachées à une même période (la période de contrôle). Cette prise en compte dans la définition de l'estimateur du ratio explique en partie la révision à la hausse des estimations.

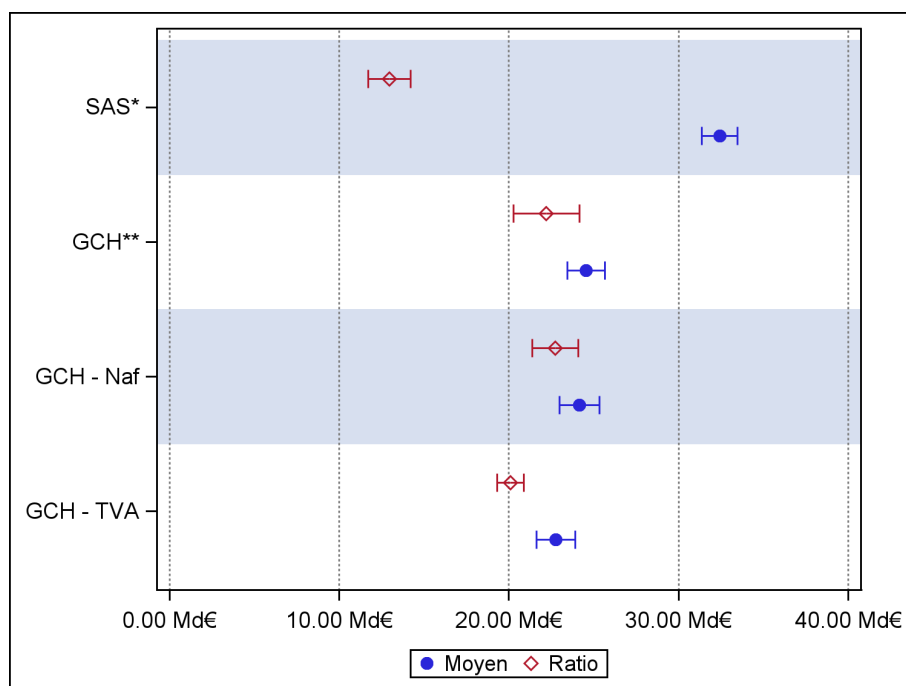
Le graphique 2 représente les résultats obtenus après agrégation des estimations effectuées pour la DVNI, les Dircofi et les directions locales³⁸ pour différentes probabilités d'inclusion et/ou en retenant différentes définitions de domaines. Dans un premier temps, nous proposons une estimation « naïve » en considérant que les entreprises contrôlées sont simplement issues (à tort) d'un tirage aléatoire simple (ligne (SAS)). De plus, pour cette estimation, aucun domaine n'est retenu. Puis, nous affectons à chaque entreprise, comme probabilité d'inclusion, la probabilité corrigée de la probabilité de contrôle du groupe de contrôle homogène auquel elle appartient (cf. section 2.2). Plusieurs estimations sont alors

37. En autorisant notamment des relations non linéaires entre le fait qu'une entreprise soit contrôlée et les variables retenues dans les modèles.

38. Les résultats par type d'administrations en charge du contrôle fiscal sont détaillées dans les tableaux C.2 et C.3 situés en annexe.

effectuées, sans domaines (ligne (GCH)) ou en retenant deux partitions de la population, par secteur d'activité (ligne (GCH-Naf)) ou par quantiles de TVA brute déclarée en 2012 (ligne (GCH-TVA)).

Graphique 2 – Estimations des montants manquants de TVA par la moyenne et par le ratio



* : Sondage aléatoire simple, ** : Groupe de contrôle homogène

Note : Chaque ligne présente l'estimation et l'intervalle de confiance à 95 % associé, obtenus en utilisant un estimateur par le ratio et un estimateur par la moyenne, sur l'ensemble de la population ou après agrégation des résultats par domaine. Dans la ligne (SAS), l'hypothèse retenue est que les entreprises ont toutes la même probabilité d'être contrôlées ; il n'y a pas de prise en compte de la sélection, cette ligne est indiquée à titre de point de référence, afin notamment de se faire une idée de l'impact sur les estimations de la prise en compte (même partielle) du biais de sélection par l'introduction des GCH. Dans les lignes (GCH), la probabilité d'inclusion de chaque entreprise correspond à la proportion d'entreprises contrôlées du groupe de contrôle homogène à laquelle elle appartient (cf. section 2.2). Les 50 quantiles de TVA qui définissent les domaines dans la quatrième ligne sont constitués à partir de la distribution, pour les seules entreprises contrôlées, de la TVA brute déclarée.

Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

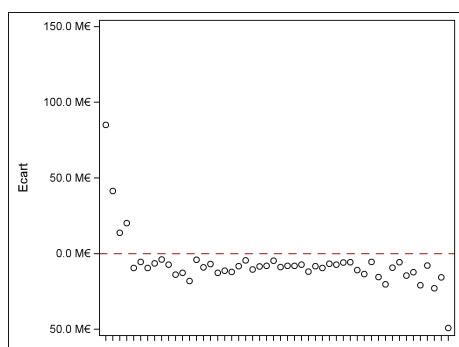
En ce qui concerne l'estimateur par le ratio, les estimations obtenues, sans aucune prise en compte de la sélection et en considérant que les entreprises contrôlées ont toutes la même probabilité d'être contrôlées (sondage aléatoire simple, à titre de point de comparaison), sont les plus faibles quelle que soit la sous population envisagée. Le montant manquant total de TVA est alors estimé à 13 Md€ mais cette estimation ne corrige pas du biais de sélection des entreprises contrôlées par les différentes administrations fiscales. Lorsque l'on utilise les pondérations issues de la correction apportées par les groupes de contrôle homogène (ligne (GCH)), le montant manquant de TVA estimé augmente pour chaque type d'administration (cf. tableau C.2) pour s'établir au total à 22,2 Md€. Cette estimation est de plus significativement différente de celle obtenue en considérant que les entreprises contrôlées ont toutes la même probabilité d'être contrôlées, témoignant aussi en cela de la meilleure prise en compte de la complexité du processus de sélection par la DGFIP des entreprises contrôlées (sans que l'on sache si on élimine effectivement la totalité du biais en résultant). Les estimations par Naf ou par quantiles de TVA brute déclarée conduisent à obtenir des estimations similaires, respectivement 22,7 Md€ et 20,1 Md€. Ces deux estimations ne sont pas statistiquement différentes de l'estimation sans domaine obtenue

en retenant comme probabilités d'inclusion celles des GCH, mais elles sont plus précises.

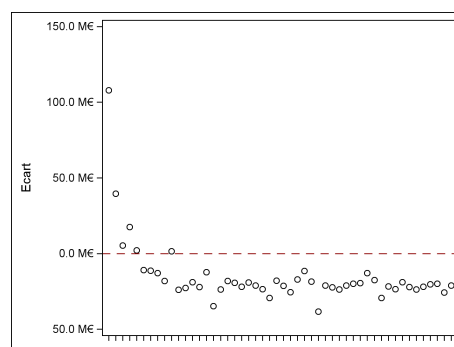
À l'inverse, les résultats obtenus avec l'estimateur par la moyenne diminuent dès lors que l'on corrige du biais de sélection en retenant comme pondération les probabilités des GCH puis que l'on considère des montants moyens de redressement hétérogènes par secteur d'activité ou par quantiles de TVA brute déclarée. Ainsi, sous l'hypothèse « naïve » que les entreprises contrôlées ont toutes la même probabilité d'être contrôlées, nous estimons que le montant manquant total de recouvrement de TVA atteindrait 32,4 Md€, contre 24,6 Md€ si l'on considère les groupes de contrôle homogène (ligne GCH). Si l'on autorise en plus des montants moyens de redressement différents par secteur d'activités (GCH-Naf) ou par quantiles de TVA brute déclarée (ligne GCH-TVA), les montants manquants de TVA sont estimés respectivement à 24,2 Md€ et 22,8 Md€. Cependant, dès lors que l'on considère les groupes de contrôle homogène, les résultats obtenus par l'estimateur par la moyenne, avec ou sans domaine, ne sont pas statistiquement différents.

Les estimations par le ratio et par la moyenne des montants manquants de TVA ne sont pas statistiquement différentes, lorsque l'on tient compte du biais de sélection (lignes GCH), bien que les estimations par le ratio soient inférieures à celles obtenues par la moyenne. Pour comprendre ce résultat, une comparaison entre les deux estimateurs par quantiles de TVA est représentée pour chaque sous-population (DVNI, Dircofi, directions locales) dans les graphiques 3a, 3b et 3c. Sur ces graphiques, les quantiles sont ordonnés par ordre croissant de TVA brute déclarée de gauche à droite, de telle sorte que le premier quantile comporte notamment les entreprises ayant déclaré une TVA brute collectée nulle en 2012. Pour les directions locales, ce quantile ne regroupe d'ailleurs que des entreprises dans ce cas de figure. Quelle que soit la sous-population considérée, les estimations par le ratio sont plus faibles que les estimations par la moyenne pour les quatre/cinq premiers quantiles de la distribution, et particulièrement pour le quantile qui comporte les entreprises ayant déclaré une TVA brute nulle. Pour les autres quantiles, les estimations par le ratio sont toutes plus élevées que les estimations par la moyenne. Au total, pour les DVNI et les Dircofi, les estimations de TVA manquantes obtenues par l'estimateur par le ratio excèdent celles obtenues par l'estimateur par la moyenne, respectivement de 34 et 75 M€ (cf. tableaux C.2 et C.3). À l'inverse pour les directions locales, l'estimation par la moyenne dépasse l'estimation par le ratio de 3,8 Md€. L'ampleur de l'écart pour les directions locales s'explique principalement par la différence d'estimation obtenue pour les entreprises qui ne déclarent pas de TVA brute collectée, c'est-à-dire pour le premier quantile. En effet, pour ces entreprises, l'estimateur par le ratio n'est pas défini et de ce fait, aucun montant de fraude n'est extrapolé. À l'inverse, on obtient une estimation pour ces entreprises en utilisant l'estimateur par la moyenne, qui s'élève à 4 Md€. L'écart important observé sur ce quantile n'est donc que partiellement compensé par les estimations plus élevées obtenues par l'estimateur par le ratio sur les quantiles correspondant à des déclarations de TVA brute plus élevées. Il ressort donc que la similitude des estimations obtenues par ces deux estimateurs masque en réalité des écarts plus contrastés par domaines.

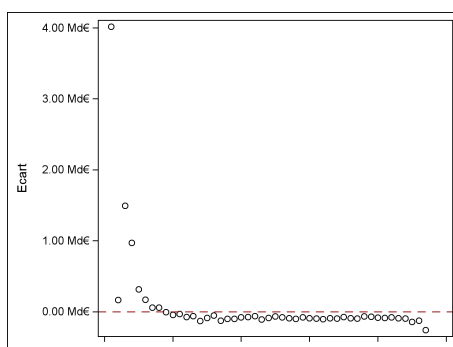
Graphique 3 – Différence entre l'estimation par la moyenne et l'estimation par le ratio selon les quantiles de TVA brute déclarée



(a) DVNI



(b) Dircofi



(c) Directions locales

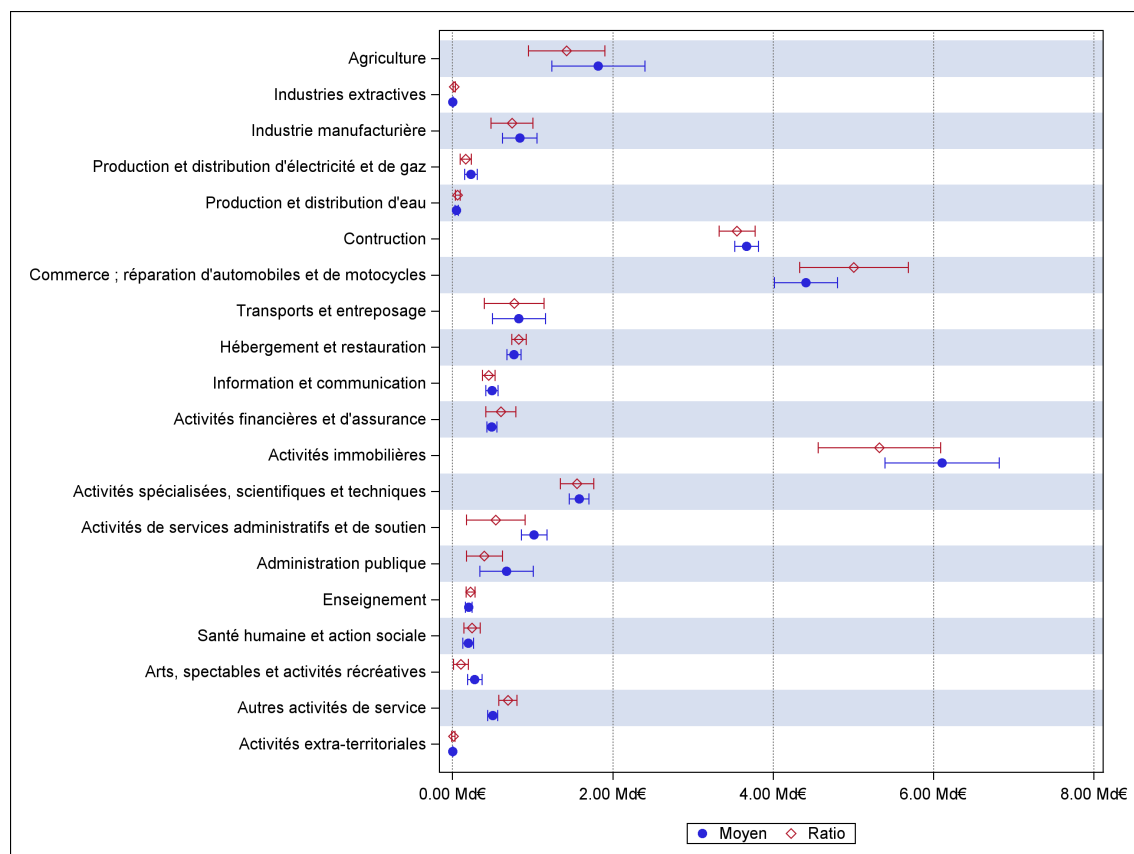
Note : Pour chaque quantile, le graphique représente l'écart entre les estimations obtenues par l'estimateur par la moyenne et par le ratio. Une valeur située au dessus de la ligne indique une estimation par la moyenne supérieure à l'estimation obtenue par le ratio. Les quantiles sont constitués à partir de la distribution de la TVA brute déclarée. Ils sont ordonnés par valeurs croissantes de TVA brute déclarée. Le premier quantile comporte ainsi notamment les entreprises ayant déclaré en 2012 une TVA brute collectée nulle. Pour les directions locales, ce quantile ne regroupe que des entreprises ayant déclaré une TVA brute collectée nulle en 2012.

Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

Les résultats obtenus par secteur d'activité soulignent aussi la concentration dans un nombre restreint de secteurs des montants manquants de versement de TVA (cf. graphique 4). Seuls trois secteurs d'activité présentent un montant total manquant de versements de TVA supérieur à 2 Md€ ; le secteur de la construction (3,55 Md€ pour l'estimateur par le ratio et 3,67 Md€ pour l'estimateur par la moyenne), le secteur du commerce et de la réparation d'automobiles et de motocycles (respectivement 5,01 Md€ et 4,41 Md€) et celui des activités immobilières (respectivement 5,33 Md€ et 6,11 Md€). À eux seuls, ces trois secteurs représentent environ 55 % des montants totaux manquants de versement de TVA, quel que soit l'estimateur retenu, alors qu'ils ne représentent que 47 % du montant total de TVA brute déclarée. Il convient cependant de garder à l'esprit que les estimations pour ces secteurs sont particulièrement sensibles aux problèmes de sélection sur inobservables. Le secteur de l'immobilier, en particulier, est un secteur d'activité pour lequel le taux de contrôle est faible, tandis que le taux de redressement parmi les entreprises contrôlées est élevé ; on extrapole des montants de versements manquants de TVA issus d'un faible nombre de contrôles très ciblés à un nombre important d'entreprises. Le montant estimé sur ce secteur pourrait être alors surestimé par le phénomène de sélection sur inobservables. La méthodologie adoptée atteint ses limites et ne permet pas de connaître l'ampleur de cette surestimation et encore moins de la corriger. Seule la mise en place de contrôles aléatoires permettrait de résoudre cette difficulté.

Graphique 4 – Estimations des montants manquants de TVA par la moyenne et par le ratio par secteurs d'activité



Note : Chaque ligne présente l'estimation et l'intervalle de confiance à 95 % associé obtenu en utilisant un estimateur par le ratio et un estimateur par la moyenne. La probabilité d'inclusion de chaque entreprise correspond à la proportion d'entreprises contrôlées du groupe de contrôle homogène à laquelle elle appartient (cf. section 2.2).

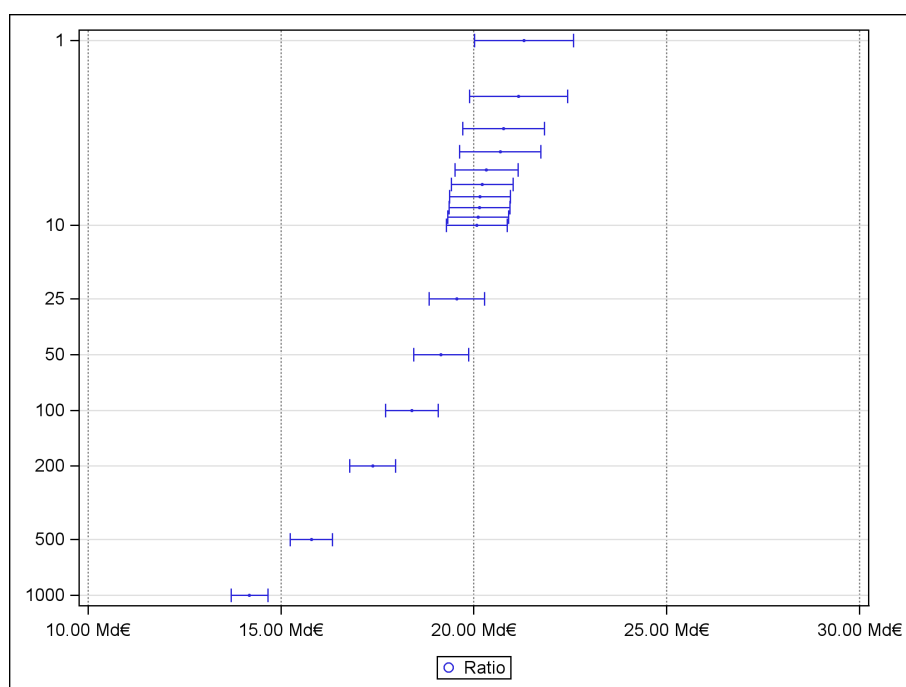
Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

3.3 L'impact des redressements exceptionnels

Les estimations précédentes ont été obtenues en ne retenant pas, pour chaque sous-population d'entreprises, dix redressements « exceptionnels³⁹ » prononcés à l'encontre des entreprises dont l'exercice fiscal de l'année 2012 a été contrôlé (cf. section 2.3). Dans cette partie, nous justifions ce choix en étudiant l'impact de l'intégration d'un nombre croissant de redressements « exceptionnels » sur nos estimations et leurs intervalles de confiance⁴⁰. Plus précisément, nous réalisons à nouveau des estimations par le ratio par quantiles de TVA en retenant les probabilités d'inclusion corrigées de la probabilité de contrôle par groupes de contrôle homogène (ligne GCH-TVA dans les tableaux précédents). Pour chaque estimation, un nombre de redressements « exceptionnels », allant de 1 000 à 1, n'est pas intégré à l'échantillon considéré pour chaque sous-population (DVNI, Dircofi et directions locales). Les résultats obtenus pour l'estimateur par le ratio sont présentés dans le graphique 5, ceux pour l'estimateur par la moyenne dans le graphique 6.

Graphique 5 – Comparaison des estimations par le ratio obtenues par intégration successive de redressements exceptionnels



Note : Chaque ligne présente l'estimation et l'intervalle de confiance à 95 % associé obtenus (i) en ne retenant pas les 1 000, 500, 200, 100 etc. plus grands redressements prononcés, (ii) en considérant comme domaines, les 50 quantiles de TVA constitués à partir de la distribution, pour les seules entreprises contrôlées retenues, de la TVA brute déclarée. La probabilité d'inclusion de chaque entreprise correspond à la proportion d'entreprises contrôlées du groupe de contrôle homogène à laquelle elle appartient (cf. section 2.2).

Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

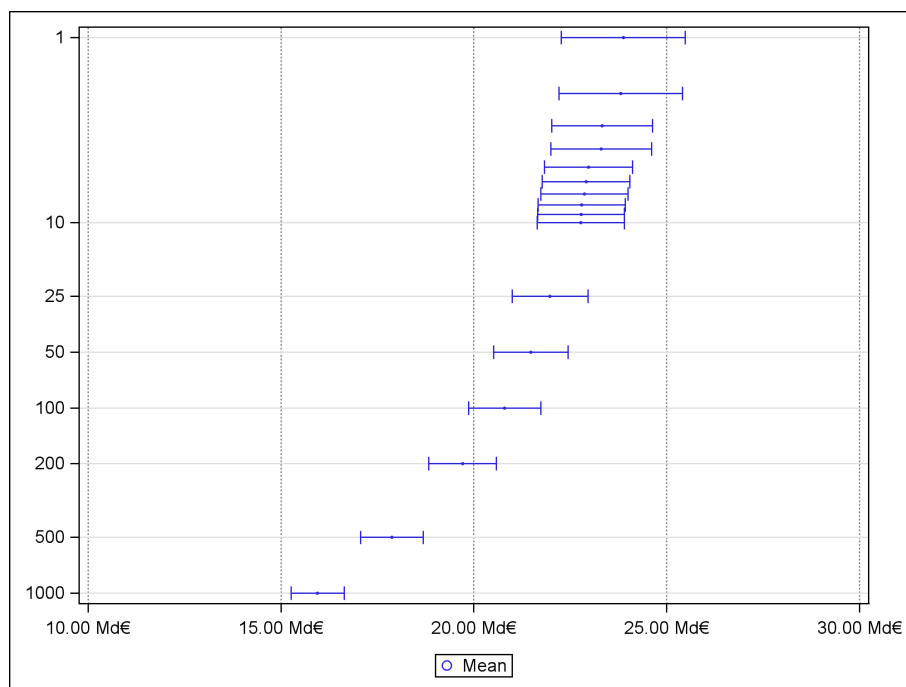
Quelle que soit la méthode, les estimations ainsi que les intervalles de confiance augmentent au fur et à mesure que le nombre de redressements « exceptionnels » intégrés dans l'échantillon des entreprises contrôlées augmente. Cependant, un plateau apparaît lorsque dix observations ne sont pas retenues, avant qu'une augmentation importante, tant du montant total estimé que de l'intervalle de confiance correspondant, ne survienne

39. soit 30 observations au total.

40. On trouvera en Annexe, une autre représentation graphique permettant de justifier ce choix. Pour chaque sous-population, nous déterminons le nombre de redressements « exceptionnels » à exclure de l'échantillon en fonction du seuil retenu pour le score (cf. graphique 8). Une partition par secteurs d'activité du nombre de redressements exclus en fonction du seuil retenu, par sous-population, est aussi proposé.

si l'on intègre les cinq redressements les plus « exceptionnels » prononcés dans chaque sous-population considérée. Cette sensibilité soudaine de nos résultats à l'intégration d'un nombre réduit d'observations supplémentaires ne démontre pas nécessairement que ces entreprises présentent un comportement de fraude qui serait singulier et non représentatif de celui d'autres entreprises, mais elle souligne qu'une estimation minimale et robuste des montants manquants de versements de TVA peut être obtenue en n'intégrant pas les dix redressements les plus « exceptionnels » prononcés dans chaque sous-population considérée.

Graphique 6 – Comparaison des estimations par la moyenne obtenues par intégration successive de redressements exceptionnels



Note : Chaque ligne présente l'estimation et l'intervalle de confiance à 95 % associé obtenus (i) en ne retenant pas les 1 000, 500, 200, 100 etc. plus grands redressements prononcés, (ii) en considérant comme domaines, les 50 quantiles de TVA constitués à partir de la distribution, pour les seules entreprises contrôlées retenues, de la TVA brute déclarée. La probabilité d'inclusion de chaque entreprise correspond à la proportion d'entreprises contrôlées du groupe de contrôle homogène à laquelle elle appartient (cf. section 2.2).

Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

Conclusion

Cette étude vise à quantifier les montants manquants de versements de TVA que pourrait recouvrer la DGFIP en contrôlant l'ensemble des entreprises redevables de la TVA, c'est-à-dire les montants correspondant au non respect du droit fiscal. Notre méthodologie s'appuie sur la théorie des sondages en considérant que les entreprises contrôlées correspondent aux seules répondantes à une enquête, parmi un échantillon constitué de l'ensemble des entreprises redevables de la TVA. Cependant, les entreprises contrôlées par la DGFIP ne sont pas sélectionnées selon un plan de sondage connu. En effet, la mission de contrôle fiscal de la DGFIP a trois objectifs : budgétaire, répressif et dissuasif. Recouvrer les montants non versés ou sanctionner les comportements de fraude délibérés par ses contrôles fiscaux conduit la DGFIP à cibler les entreprises pour lesquelles la suspicion de fraude est importante. Toutefois, la DGFIP contrôle aussi des entreprises exerçant dans des secteurs d'activité peu sujets à la fraude, de telle sorte que le processus de sélection des entreprises contrôlées est complexe à modéliser. Afin de tenter de corriger au mieux de ce biais de sélection, nous estimons par des algorithmes de *machine learning* une probabilité de contrôle des entreprises redevables de la TVA ; il est alors possible de repondérer les poids de sondage par ces probabilités estimées afin de retracer au mieux le phénomène de sélection au moment de l'extrapolation. Enfin, le montant total de TVA non recouvrée est estimé sur différentes partitions en domaines des entreprises redevables de la TVA, par un estimateur par le ratio ou par la moyenne.

Nos résultats suggèrent que selon l'estimateur retenu le montant total de TVA non recouvré serait compris entre 20 et 25 Md€ pour l'année 2012. Les intervalles de confiance à 95 % associés sont compris entre 19 et 26 Md€. Ces estimations n'intègrent pas quelques montants de redressement exceptionnels dont la prise en compte nécessite de poser une hypothèse supplémentaire. En effet, les intégrer dans notre échantillon revient à considérer que ces comportements de fraude massive ne seraient pas isolés mais pourraient être représentatifs du comportement déclaratif d'autres entreprises au sein de l'échantillon des entreprises contrôlées.

Ces estimations sont cependant à manier avec prudence, car persistent quelques limites importantes qu'il convient de garder à l'esprit. D'abord, l'algorithme de *boosting* retenu pour prédire les probabilités de contrôle (et *a fortiori* l'ensemble des algorithmes entraînés et testés sur les données) montre des performances limitées, en particulier en termes de précision. Il s'avère donc que la modélisation du processus de sélection à partir des caractéristiques observées est incomplète. De plus, la démarche adoptée ne peut rendre compte de l'hétérogénéité inobservée sous-jacente des déterminants de la programmation d'un contrôle, par exemple l'expertise des contrôleurs fiscaux dans l'arbitrage entre deux entreprises à contrôler, sous contrainte de moyens. Cette partie non prise en compte du biais de sélection impacte directement l'extrapolation, *via* les poids de sondage repondérés. Il faut aussi souligner le fait qu'il n'est pas possible de savoir dans quelle mesure le biais de sélection est effectivement pris en compte. Seule la mise en place de contrôles aléatoires permettrait de répondre à cette difficulté.

Par ailleurs, par définition, les redressements prononcés à l'encontre des entreprises contrôlées résultent d'une détection par le contrôleur fiscal d'une irrégularité ou d'un comportement frauduleux. En s'appuyant sur les résultats des contrôles menés par la DGFIP, notre estimation fait donc implicitement l'hypothèse que les comportements de fraude des entreprises sont *tous détectés* par les services fiscaux lorsque le contrôle a lieu. En cela, le champ de notre estimation ne retient pas les comportements frauduleux non connus à ce jour. De plus, comme nous l'avons souligné dans la partie consacrée à la méthodologie, nos résultats reposent implicitement sur l'hypothèse que le comportement frauduleux d'une

entreprise s'étend sur toute la durée de son exercice fiscal. Une telle hypothèse ne tient pas compte des contraintes juridiques qui encadrent la récurrence des contrôles d'une même entreprise, ni des effets dissuasifs sur le comportement déclaratif futur d'un contribuable suite à un redressement fiscal. Ainsi, si la mise en place de contrôles aléatoires améliorerait sensiblement la qualité des estimations de fraude fiscale à la TVA par la prise en compte rigoureuse du biais de sélection, une attention particulière doit demeurer dans l'analyse des résultats sur le champ et la nature de la fraude estimée.

Références

- L. BREIMAN, J.H. FRIEDMAN, R.A. OLSEN et C.J. STONE : *Classification and Regression Trees*. Wadsworth and Brooks, 1984.
- N.V. CHAWLA, K.W. BOWYER, L.O. HALL et W.P. KEGELMEYER : SMOTE : Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16:321–357, June 2002. URL <http://dx.doi.org/10.1613/jair.953>.
- COUR DES COMPTES : La fraude aux prélèvements obligatoires - Rapport, 2019. URL <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/la-fraude-aux-prelevements-obligatoires>.
- DEROYON : La correction de la non-réponse par repondération, Note méthodologique INSEE, 2018. URL <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/2838097/8-correction-de-la-non-reponse-par-reponderation.pdf>.
- David HAZIZA et Jean-François BEAUMONT : On the Construction of Imputation Classes in Survey. *International Statistical Review*, 75(1):25–43, 2007.
- David HAZIZA, Sixia CHEN et Yimeng GAO : Targeting Key Survey Variables at the Unit Nonresponse Treatment Stage. *Journal of Survey Statistics and Methodology*, 11 2020. ISSN 2325-0984. URL <https://doi.org/10.1093/jssam/smaa016>.
- James HECKMAN : The Common Structure of Statistical Models of Truncation, Sample Selection and Limited Dependent Variables and a Simple Estimator for Such Models. *Annals of Economic and Social Measurement*, 5(4):475–492, 1976.
- James HECKMAN : Sample Selection Bias as a Specification Error. *Econometrica*, 47 (1):153–161, 1979.
- Max KUHN : *caret : Classification and Regression Training*, 2020. URL <https://CRAN.R-project.org/package=caret>. R package version 6.0-86.
- Claudie LOUVOT : L'évaluation de l'activité dissimulée des entreprises sur la base des contrôles fiscaux et son insertion dans les comptes nationaux. *Documents de travail, Insee*, (G2011/09), 2011. URL <http://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/1381029/G2011-09.pdf>.
- Peter J. ROUSSEEUW et Mia HUBERT : Robust statistics for outlier detection. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 1(1):73–79, 2011. URL <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/widm.2>.
- SAUTORY : Les méthodes de calage, Note méthodologique INSEE, 2018. URL <http://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/2838097/5-les-methodes-de-calage.pdf>.
- Carl-Erik SÄRNDAL et Sixten LUNDSTROM : *Estimation in surveys with nonresponse*. John Wiley & Sons, 2005.
- Carl-Erik SÄRNDAL, Bengt SWENSSON et Jan WRETMAN : *Model assisted survey sampling*. Springer Science and Business Media, 2003.
- Giovanna TAGLIAFERRI, Daria SCACCIATELLI et Pierfrancesco ALAIMO DI LORO : VAT tax gap prediction : a 2-steps Gradient Boosting approach, 12 2019.
- L. TORGO : *Data Mining with R, learning with case studies*. Chapman and Hall/CRC, 2010. URL <http://www.dcc.fc.up.pt/~ltorgo/DataMiningWithR>.

Annexes

Annexe A Algorithmes de *machine learning* testés

Nous détaillons succinctement ci-dessous les cinq algorithmes testés pour chaque sous population.

L'apprentissage par **arbre de décision** est un algorithme d'apprentissage supervisé. Il vise à prédire la valeur d'une caractéristique catégorielle, ici le fait d'être contrôlé, à partir des valeurs de plusieurs variables définies comme étant des variables d'entrée. Les algorithmes comme l'algorithme CART (Breiman *et al.*, 1984) utilisé dans cette étude vise à scinder l'espace des observations considérées, de manière récursive, en commençant par la population entière. Chaque partition d'ensembles est réalisée par un test sur la valeur d'une caractéristique d'entrée. Si la variable est discrète, les sous-ensembles sont constitués à partir de ses différentes modalités. Dans le cas d'une variable continue, c'est un seuil qui définit la partition en deux sous-ensembles de la population initiale.

Pour chaque sous-ensemble, la valeur prédite de la caractéristique cible est celle qui est la plus représentée. Ce processus est répété sur chaque sous-ensemble obtenu de manière récursive. Pour choisir la variable de séparation à chaque étape, l'algorithme teste les différentes variables d'entrée possibles et sélectionne celle qui maximise un critère donné, souvent l'indice de diversité de Gini. Ce processus est achevé, soit lorsque tous les sous-ensembles ont la même valeur de la caractéristique-cible, ou lorsque la séparation n'améliore plus la prédiction. Un tel processus peut conduire à la constitution d'un arbre de classification complexe même si chaque sous-ensemble est parfaitement homogène du point de vue de la variable-cible⁴¹. Or l'apprentissage est réalisé sur un échantillon que l'on espère représentatif d'une population. L'enjeu de toute technique d'apprentissage est d'arriver à saisir l'information utile sur la structure statistique de la population, en excluant les caractéristiques spécifiques au jeu de données étudié. Dans le cas contraire, le risque dit de sur-apprentissage conduit à voir le modèle incapable d'être extrapolé à de nouvelles données. La construction d'un arbre de classification s'appuie donc aussi sur un paramètre de complexité qu'il convient de calibrer au mieux.

Le méta-algorithme **bagging** (ou *Bootstrap AGGregation of classifiers*) d'arbres de classification consiste à appliquer une règle de décision (par exemple l'arbre de classification optimal déterminé comme décrit ci-dessus) pré-sélectionnée et donc déjà calibrée, à un ensemble de sous-échantillons aléatoires de même taille tirés avec remise dans l'échantillon de départ. De cette façon, les prédicteurs seront indépendants. La prédiction issue du *bagging* est la moyenne des prédictions faites sur l'ensemble des sous-échantillons par la règle de décision. En pratique les performances sont améliorées (la variance diminue toujours, le biais est au mieux réduit, au pire maintenu), en revanche la méthode perd en interprétabilité comme règle de décision. On calibre le nombre de sous-échantillons tirés dans l'échantillon ; avec l'intuition que plus ceux-ci sont nombreux, meilleure est la précision.

L'algorithme des **forêts aléatoires** est un algorithme de *bagging* prenant comme règle de décision un arbre de taille maximale.

41. Le cas extrême étant lorsqu'il y a autant de sous-ensembles que d'observations

Boosting sur des arbres de classification : parmi les algorithmes de boosting, on trouve en particulier le *Gradient Boosting*. Dans le cas du *boosting*, contrairement au *bagging*, les algorithmes sous-jacents ne sont plus indépendants : à chaque itération de l'algorithme, un arbre de classification est entraîné, mais s'appuyant sur le précédent (il n'y a plus d'indépendance des prédicteurs). Le prédicteur d'initialisation du *boosting* prédit une unique étiquette : la plus fréquente dans les données. Ensuite, à chaque étape, un arbre est entraîné sur le résidu prédit à l'étape immédiatement précédente (à l'étape 1, pour chaque observation, est prédit l'écart entre la « moyenne » et la vraie étiquette de l'observation considérée), puis ces prédictions sont multipliées par un facteur inférieur à un, afin que chaque itération apporte une correction à la prédiction précédente. Ainsi, chaque itération améliore les performances de la précédente en se rapprochant par « petits pas » successifs des vraies valeurs. La prédiction issue du *boosting* est la somme des prédictions faites par les arbres successifs.

La **régression régularisée elasticnet** est une régression logistique qui combine une pénalité sur la norme L_1 (LASSO) et sur la norme L_2 (Ridge) des coefficients. Elle comporte donc deux paramètres à calibrer : un paramètre de pénalité global, et un second paramètre qui pondère l'importance relative d'une des deux pénalités par rapport à l'autre.

Annexe B Régression logistique avec pénalisation LASSO

Formellement, la variable d'intérêt Y que l'on cherche à expliquer est une variable binaire, prenant la valeur 1 si l'entreprise se voit notifier un montant positif de TVA, et la valeur 0 sinon. Soit X un ensemble de variables explicatives (contenant le vecteur unité) ; on s'intéresse alors à l'estimation des paramètres du modèle logistique suivant :

$$\mathbb{P}(Y_i = 1) = \frac{e^{X_i' \beta}}{1 + e^{X_i' \beta}}$$

Pour un paramètre λ positif, l'estimateur LASSO correspondant est alors défini comme minimisant l'opposé de la log-vraisemblance du modèle augmenté d'une pénalité sur la norme-1 du vecteur de paramètres, comme suit :

$$\hat{\beta}_{LASSO} \in \underset{\beta \in \mathbb{R}^d}{\text{Arg min}} \sum_{i=1}^n \left(\ln(1 + e^{X_i' \beta}) - Y_i(X_i' \beta) \right) + \lambda \|\beta\|_1$$

Les variables qu'il est pertinent d'envisager pour définir les domaines peuvent être définies comme celles dont les coefficients associés estimés sont non nuls pour un λ donné, à savoir :

$$\hat{S}_Y^\lambda = \left\{ X_{\cdot p} : p = 1, \dots, P, \hat{\beta}_{\lambda, p}^{LASSO} \neq 0 \right\}$$

Enfin, il est important de noter que l'estimateur LASSO est uniquement utilisé à des fins de sélection de variables. En particulier, une variable ayant un effet bien présent mais modéré sur la probabilité d'être contrôlée peut ne pas être sélectionnée. C'est également le cas des variables explicatives très corrélées entre elles : le LASSO en sélectionnera une au détriment des autres. Finalement, sélectionner des variables explicatives et estimer leur effet sur la variable d'intérêt sont deux objectifs distincts qui ne peuvent être atteints simultanément.

Annexe C Résultats complémentaires

Tableau C.1 – Performances des algorithmes de prédiction des probabilités de contrôle

	Arbre	Bagging	Forêts aléatoires	Boosting	Elasticnet
DVNI					
Critère d'ajustement standard					
Précision de la prédiction	0.708	0.718	0.720	0.727	0.730
Critères basés sur l'AUC					
AUC	0.750	0.764	0.762	0.755	0.774
Précision	0.262	0.268	0.267	0.268	0.279
Rappel	0.672	0.660	0.646	0.619	0.662
Spécificité	0.713	0.727	0.731	0.743	0.741
DIRCOFI					
Critère d'ajustement standard					
Précision de la prédiction	0.680	0.699	0.701	0.708	0.701
Critères basés sur l'AUC					
AUC	0.648	0.675	0.670	0.667	0.671
Précision	0.207	0.221	0.220	0.221	0.222
Rappel	0.496	0.496	0.488	0.471	0.498
Spécificité	0.708	0.730	0.734	0.745	0.732
Directions locales					
Critère d'ajustement standard					
Précision de la prédiction	0.786	0.781	0.807	0.799	0.738
Critères basés sur l'AUC					
AUC	0.769	0.789	0.787	0.797	0.758
Précision	0.055	0.057	0.061	0.060	0.048
Rappel	0.587	0.625	0.592	0.608	0.626
Spécificité	0.790	0.784	0.811	0.803	0.740

AUC : *Area under the curve*, aire sous la courbe ROC.

Note : Chaque colonne présente, pour chaque algorithme testé, les résultats obtenus, sur différents critères de performance, pour les trois sous-échantillons de test des sous ensembles de directions fiscales.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

Tableau C.2 – Résultats avec l'estimateur par le ratio (en Md€)

	(I)	(II)	(III)	(IV)
Probabilités de sondage	SAS*	GCH**	GCH	GCH
Domaines			(Naf)	(quantiles TVA)
DVNI	0,66 [0,55;0,77]	1,10 [0,91;1,28]	1,36 [1,15;1,56]	1,14 [1,01;1,26]
Dircofi	1,79 [1,70;1,88]	1,83 [1,68;1,99]	1,84 [1,68;1,99]	2,55 [2,37;2,72]
Locales	10,50 [9,27;11,73]	19,28 [17,34;21,23]	19,52 [18,19;20,85]	16,39 [15,63;17,15]
Total	12,95 [11,72;14,19]	22,21 [20,26;24,17]	22,72 [21,36;24,07]	20,08 [19,29;20,86]

* : Sondage aléatoire simple, ** : Groupe de contrôle homogène

Note : Chaque colonne présente les résultats obtenus pour les trois sous ensembles de directions fiscales, en utilisant un estimateur par le ratio, sur l'ensemble de la population ou sur chaque domaine. Dans la colonne (I), l'hypothèse retenue est que les entreprises contrôlées sont issues d'un tirage aléatoire simple. Dans les colonnes (II), (III) et (IV), la probabilité d'inclusion de chaque entreprise correspond à la proportion d'entreprises contrôlées du groupe de contrôle homogène à laquelle elle appartient (cf. section 2.2). Les 50 quantiles de TVA qui définissent les domaines dans la quatrième colonne sont constitués à partir de la distribution, pour les seules entreprises contrôlées, de la TVA brute déclarée. Pour chaque estimation, l'intervalle de confiance à 95 % est donné.

Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

Tableau C.3 – Résultats avec l'estimateur par la moyenne (en Md€)

	(I)	(II)	(III)	(IV)
Probabilités de sondage	SAS*	GCH**	GCH	GCH
Domaines			(Naf)	(quantiles TVA)
DVNI	1,27 [1,13;1,41]	0,92 [0,82;1,02]	0,95 [0,84;1,06]	0,80 [0,70;0,90]
Dircofi	1,79 [1,71;1,87]	1,84 [1,71;1,98]	1,85 [1,71;1,99]	1,80 [1,63;1,96]
Locales	29,36 [28,32;30,40]	21,78 [20,70;22,86]	21,35 [20,19;22,50]	20,17 [19,06;21,28]
Total	32,42 [31,37;33,47]	24,55 [23,45;25,64]	24,15 [22,98;25,32]	22,77 [21,64;23,90]

* : Sondage aléatoire simple, ** : Groupe de contrôle homogène

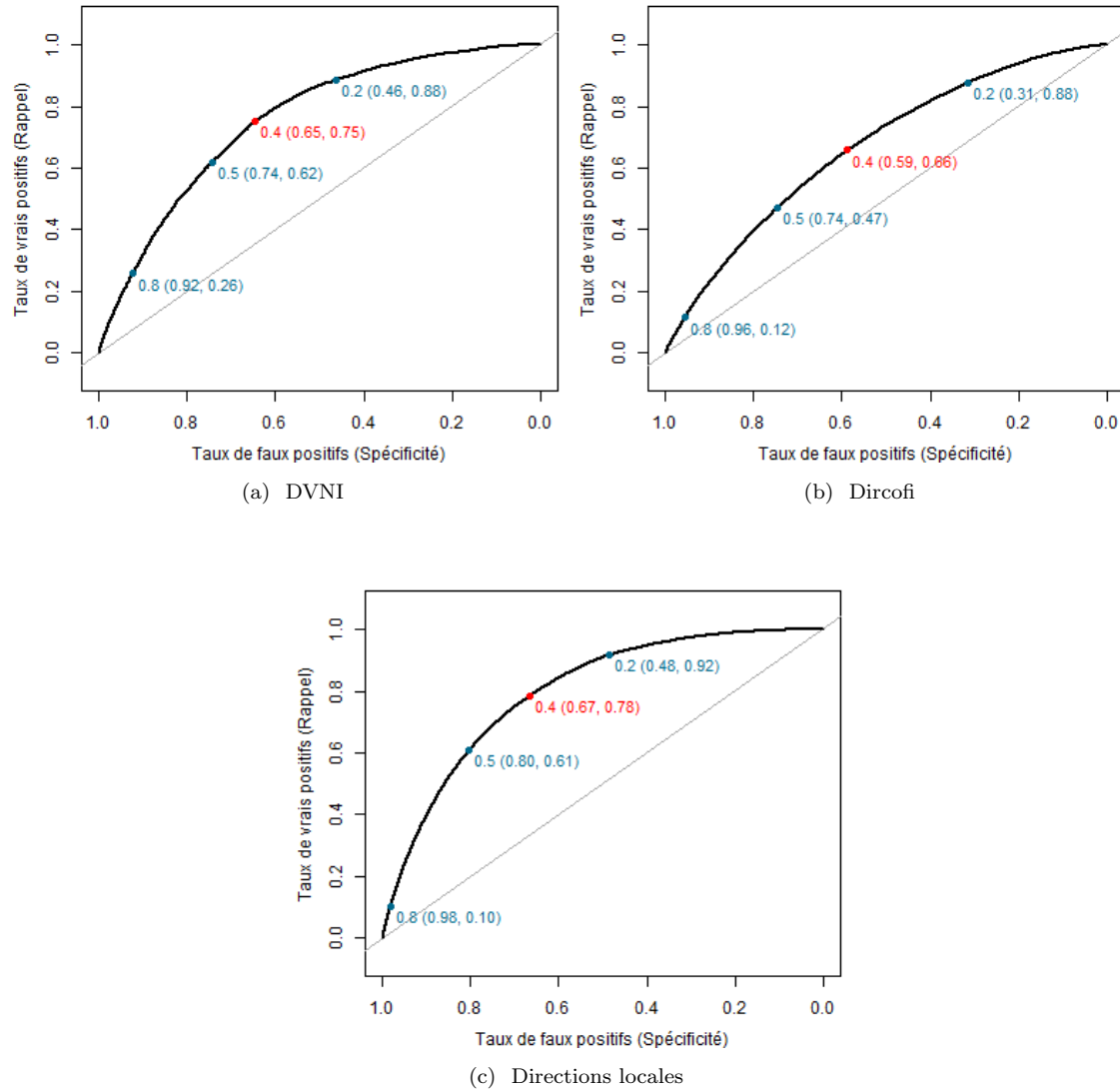
Note : Chaque colonne présente les résultats obtenus pour les trois sous ensembles de directions fiscales, en utilisant un estimateur par la moyenne, sur l'ensemble de la population ou sur chaque domaine. Dans la colonne (I), l'hypothèse retenue est que les entreprises contrôlées sont issues d'un tirage aléatoire simple. Dans les colonnes (II), (III) et (IV), la probabilité d'inclusion de chaque entreprise correspond à la proportion d'entreprises contrôlées du groupe de contrôle homogène à laquelle elle appartient (cf. section 2.2). Les 50 quantiles de TVA qui définissent les domaines dans la quatrième colonne sont constitués à partir de la distribution, pour les seules entreprises contrôlées, de la TVA brute déclarée. Pour chaque estimation, l'intervalle de confiance à 95 % est donné.

Champ : Entreprises ayant effectué une déclaration de TVA en 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs.

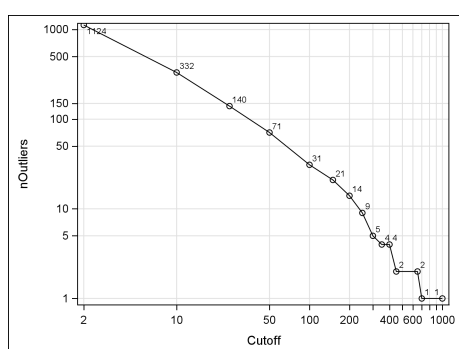
Annexe D Graphiques complémentaires

Graphique 7 – Courbes ROC des algorithmes de *boosting*

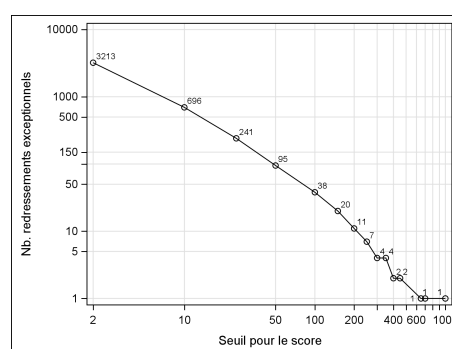


Note : Chaque point correspond à un seuil de la règle de décision, et renseigne, entre parenthèses, les valeurs correspondantes, respectivement, pour les critères de spécificité et de rappel/sensibilité. À titre informatif, est aussi donné le point correspondant au seuil optimal pour la règle de décision (en rouge), au sens où il maximise la somme du rappel et de la spécificité.

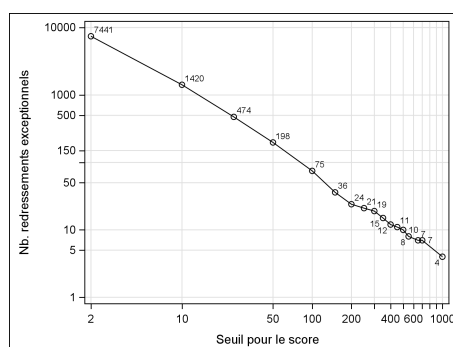
Graphique 8 – Nombre de redressements exceptionnels en fonction du seuil du score retenu



(a) DVNI



(b) Dircofi



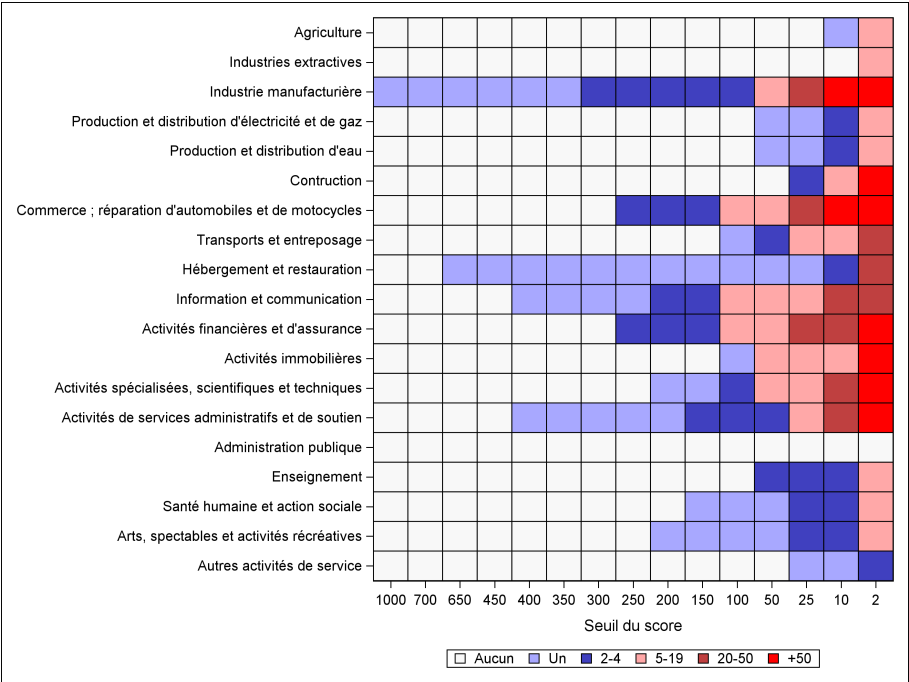
(c) Directions locales

Note : Pour chaque valeur de seuil, le graphique représente le nombre de redressements « exceptionnels » écartés de l'échantillon des entreprises contrôlées utilisé pour l'estimation.

Champ : Entreprises redressées sur leur exercice comptable 2012.

Source : DGFîP, Insee, calcul des auteurs.

Graphique 9 – Nombre de redressements exceptionnels en fonction du seuil du score retenu par Naf - DVNI

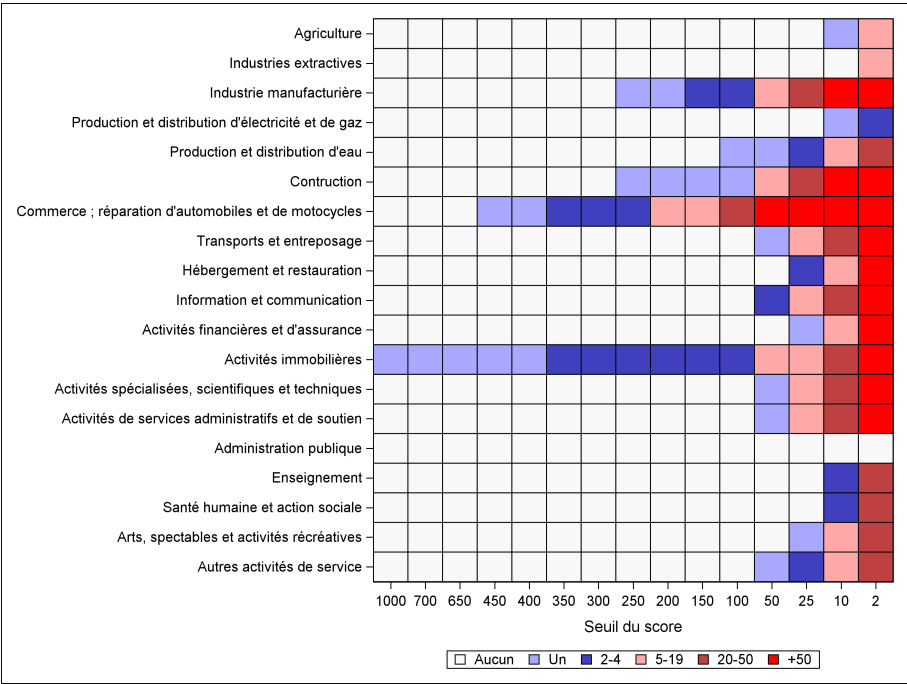


Note : Pour chaque valeur de seuil, le graphique représente le nombre de redressements « exceptionnels » écartés de l'échantillon des entreprises contrôlées utilisé pour l'estimation.

Champ : Entreprises redressées sur leur exercice comptable 2012.

Source : DGFîP, Insee, calcul des auteurs..

Graphique 10 – Nombre de redressements exceptionnels en fonction du seuil du score retenu par Naf - Dircofi

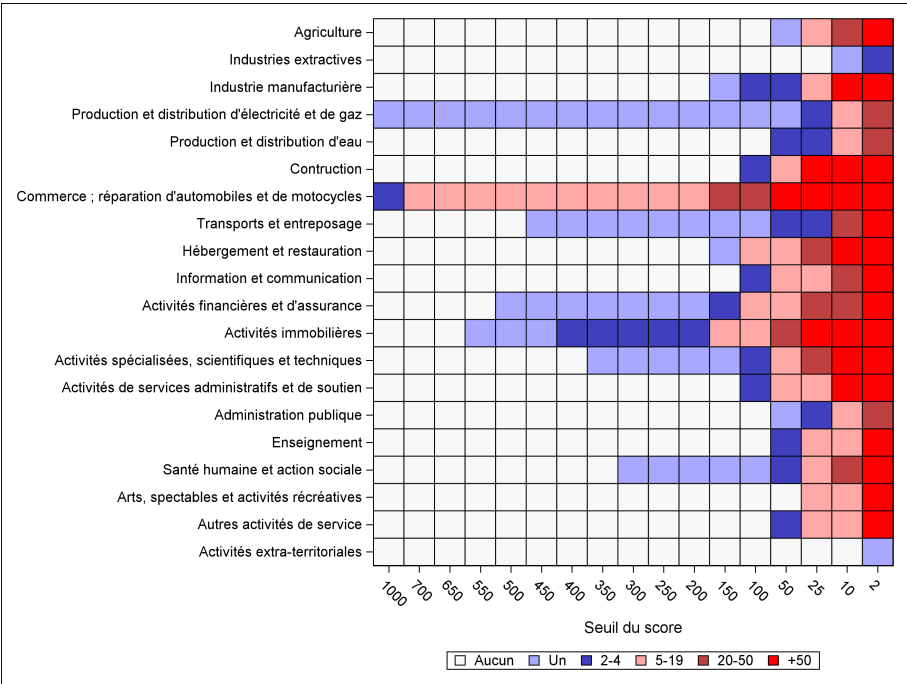


Note : Pour chaque valeur de seuil, le graphique représente le nombre de redressements « exceptionnels » écartés de l'échantillon des entreprises contrôlées utilisé pour l'estimation.

Champ : Entreprises redressées sur leur exercice comptable 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs..

Graphique 11 – Nombre de redressements exceptionnels en fonction du seuil du score retenu par Naf - Directions locales



Note : Pour chaque valeur de seuil, le graphique représente le nombre de redressements « exceptionnels » écartés de l'échantillon des entreprises contrôlées utilisé pour l'estimation.

Champ : Entreprises redressées sur leur exercice comptable 2012.

Source : DGFIP, Insee, calcul des auteurs..

Liste des documents de travail de la Direction des Études et Synthèses Économiques

G 9001	J. FAYOLLE et M. FLEURBAEY Accumulation, profitabilité et endettement des entreprises	G 9202	J. OLIVEIRA-MARTINS, J. TOUJAS-BERNATE Macro-economic import functions with imperfect competition - An application to the E.C. Trade	G 9311	J. BOURDIEU - B. COLIN-SEDILLLOT Les décisions de financement des entreprises françaises : une évaluation empirique des théories de la structure optimale du capital	analyse économique des politiques française et allemande
G 9002	H. ROUSSE Détection et effets de la multicolinéarité dans les modèles linéaires ordinaires - Un prolongement de la réflexion de BELSLEY, KUH et WELSCH	G 9203	I. STAPIC France dans le cadre des négociations multilatérales du GATT Juin 1992 (1ère version) Novembre 1992 (version finale)	G 9312	L. BLOCH - B. CŒURÉ Q de Tobin marginal et transmission des chocs financiers	J. BOURDIEU - B. CŒURÉ - B. COLIN-SEDILLLOT Investissement, incertitude et irréversibilité Quelques développements récents de la théorie de l'investissement
G 9003	P. RALLE et J. TOUJAS-BERNATE Indexation des salaires : la rupture de 1983	G 9204	P. SEVESTRE L'économétrie sur données individuelles- temporelles. Une note introductive	G 9313	Équipes Amadeus (INSEE), Banque de France, Métric (DP) Présentation des propriétés des principaux modèles macroéconomiques du Service Public	B. DORMONT - M. PAUCHET L'évaluation de l'élasticité emploi-salaire dépend- elle des structures de qualification ?
G 9004	D. GUELLEC et P. RALLE Compétitivité, croissance et innovation de produit	G 9205	H. ERKEL-ROUSSE Le commerce extérieur et l'environnement international dans le modèle AMADEUS (réestimation 1992)	G 9314	B. CREPON - E. DUGUET Research & Development, competition and innovation	I. KABLA Le Choix de breveter une invention
G 9005	P. RALLE et J. TOUJAS-BERNATE Les conséquences de la désindexation. Analyse dans une maquette prix-salaires	G 9206	N. GREENAN et D. GUELLEC Coordination within the firm and endogenous growth	G 9315	B. DORMONT Quelle est l'influence du coût du travail sur l'emploi ?	J. BOURDIEU - B. CŒURÉ - B. SEDILLLOT Irreversible Investment and Uncertainty: When is there a Value of Waiting?
G 9101	Équipe AMADEUS Le modèle AMADEUS - Première partie - Présentation générale	G 9207	A. MAGNIER et J. TOUJAS-BERNATE Technology and trade: empirical evidences for the major five industrialized countries	G 9316	D. BLANCHET - C. BROUSSE Deux études sur l'âge de la retraite	L. BLOCH - B. CŒURÉ Imperfections du marché du crédit, investisse- ment des entreprises et cycle économique
G 9102	J.L. BRILLET Le modèle AMADEUS - Deuxième partie - Propriétés Variantielles	G 9208	B. CREPON, E. DUGUET, D. ENCAOUA et P. MOHNIEN Cooperative, non cooperative R & D and optimal patent life	G 9317	D. BLANCHET Répartition du travail dans une population hété- rogène : deux notes	D. GOUX - E. MAURIN Les transformations de la demande de travail par qualification en France Une étude sur la période 1970-1993
G 9103	D. GUELLEC et P. RALLE Endogenous growth and product innovation	G 9209	B. CREPON et E. DUGUET Research and development, competition and innovation: an application of pseudo maximum likelihood methods to Poisson models with heterogeneity	G 9318	D. EYSSARTIER - N. PONTY AMADEUS - an annual macro-economic model for the medium and long term	N. GREENAN Technologie, changement organisationnel, qua- lifications et emploi : une étude empirique sur l'industrie manufacturière
G 9104	H. ROUSSE Le modèle AMADEUS - Troisième partie - Le commerce extérieur et l'environnement international	G 9301	J. TOUJAS-BERNATE Commerce international et concurrence impar- faite : développements récents et implications pour la politique commerciale	G 9319	G. CETTE - Ph. CUNÉO - D. EYSSARTIER - J. GAUTIE Les effets sur l'emploi d'un abaissement du coût du travail des jeunes	D. GOUX - E. MAURIN Persistance des hiérarchies sectorielles de sa- laires: un réexamen sur données françaises
G 9105	H. ROUSSE Effets de demande et d'offre dans les résultats du commerce extérieur manufacturé de la France au cours des deux dernières décennies	G 9302	Ch. CASES Durées de chômage et comportements d'offre de travail : une revue de la littérature	G 9401	D. BLANCHET Les structures par âge importent-elles ?	D. GOUX - E. MAURIN Persistence of inter-industry wages differentials: a reexamination on matched worker-firm panel data
G 9106	B. CREPON Innovation, taille et concentration : causalités et dynamiques	G 9303	H. ERKEL-ROUSSE Union économique et monétaire : le débat économique	G 9402	J. GAUTIE Le chômage des jeunes en France : problème de formation ou phénomène de file d'attente ? Quelques éléments du débat	S. JACOBZONE Les liens entre RMI et chômage, une mise en perspective <i>NON PARU</i> - article sorti dans <i>Économie et Prévision</i> n° 122 (1996) - pages 95 à 113
G 9107	B. AMABLE et D. GUELLEC Un panorama des théories de la croissance endogène	G 9304	N. GREENAN - D. GUELLEC / G. BROUSSAUDIER - L. MIOTTI Innovation organisationnelle, dynamisme tech- nologique et performances des entreprises	G 9403	P. QUIRON Les déchets en France : éléments statistiques et économiques	G. CETTE - S. MAHFOUZ Le partage primaire du revenu Constat descriptif sur longue période
G 9108	M. GLAUDE et M. MOUTARDIER Une évaluation du coût direct de l'enfant de 1979 à 1989	G 9305	P. JAILLARD Le traité de Maastricht : présentation juridique et historique	G 9404	D. LADIRAY - M. GRUN-REHOMME Lissage par moyennes mobiles - Le problème des extrémités de série	G. CETTE - S. MAHFOUZ Banque de France - CEPREMAP - Direction de la Prévision - Érasme - INSEE - OFCE Structures et propriétés de cinq modèles macro- économiques français
G 9109	P. RALLE et ali France - Allemagne : performances économiques comparées	G 9306	J.L. BRILLET Micro-DMS : présentation et propriétés	G 9405	V. MAILLARD Théorie et pratique de la correction des effets de jours ouvrables	Rapport d'activité de la DESE de l'année 1995
G 9110	J.L. BRILLET Micro-DMS	G 9307	J.L. BRILLET Micro-DMS - variantes : les tableaux	G 9406	F. ROSENWALD La décision d'investir	J. BOURDIEU - A. DRAZNIEKS L'octroi de crédit aux PME : une analyse à partir d'informations bancaires
G 9111	A. MAGNIER Effets accélérateur et multiplicateur en France depuis 1970 : quelques résultats empiriques	G 9308	S. JACOBZONE Les grands réseaux publics français dans une perspective européenne	G 9407	S. JACOBZONE Les apports de l'économie industrielle pour définir la stratégie économique de l'hôpital public	A. TOPIOL-BENSAÏD Les implantations japonaises en France
G 9112	B. CREPON et G. DUREAU Investissement en recherche-développement : analyse de causalités dans un modèle d'accélé- rateur généralisé	G 9309	L. BLOCH - B. CŒURÉ Profitabilité de l'investissement productif et transmission des chocs financiers	G 9408	L. BLOCH, J. BOURDIEU, B. COLIN-SEDILLLOT, G. LONGUEVILLE Du défaut de paiement au dépôt de bilan : les banquiers face aux PME en difficulté	P. GENIER - S. JACOBZONE Comportements de prévention, consommation d'alcool et tabagie : peut-on parler d'une gestion globale du capital santé ? <i>Une modélisation microéconométrique empirique</i>
G 9113	J.L. BRILLET, H. ERKEL-ROUSSE, J. TOUJAS-BERNATE "France-Allemagne Couplées" - Deux économies vues par une maquette macro-économétrique	G 9310	J. BOURDIEU - B. COLIN-SEDILLLOT Les théories sur la structure optimale du capital : quelques points de repère	G 9409	D. EYSSARTIER, P. MAIRE Impacts macro-économiques de mesures d'aide au logement - quelques éléments d'évaluation	C. DOZ - F. LENGART Factor analysis and unobserved component models: an application to the study of French business surveys
G 9201	W.J. ADAMS, B. CREPON, D. ENCAOUA Choix technologiques et stratégies de dissuasion d'entrée			G 9410	F. ROSENWALD Suivi conjoncturel de l'investissement	
				G 9411	C. DEFEUILLEY - Ph. QUIRON Les déchets d'emballages ménagers : une	

G 9607	N. GREENAN - D. GUELLEC La théorie coopérative de la firme	G 9713	Bilan des activités de la Direction des Études et Synthèses Économiques - 1996	G 9806	J. ACCARDO - M. JLASSI La productivité globale des facteurs entre 1975 et 1996	G 9912	B. SALANIÉ Une maquette analytique de long terme du marché du travail
G 9608	N. GREENAN - D. GUELLEC Technological innovation and employment reallocation	G 9714	F. LEQUILLER Does the French Consumer Price Index Overstate Inflation?	G 9807	Bilan des activités de la Direction des Études et Synthèses Économiques - 1997	G 9912 Bis	Ch. GIANELLA Une estimation de l'élasticité de l'emploi peu qualifié à son coût
G 9609	Ph. COUR - F. RUPPRECHT L'intégration asymétrique au sein du continent américain : un essai de modélisation	G 9715	X. BONNET Peut-on mettre en évidence les rigidités à la baisse des salaires nominaux ? Une étude sur quelques grands pays de l'OCDE	G 9808	A. MOURUGANE Can a Conservative Governor Conduct an Accommodative Monetary Policy?	G 9913	Division « Redistribution et Politiques Sociales » Le modèle de microsimulation dynamique DESTINIE
G 9610	S. DUCHENE - G. FORGEOT - A. JACQUOT Analyse des évolutions récentes de la productivité apparente du travail	G 9716	N. IUNG - F. RUPPRECHT Productivité de la recherche et rendements d'échelle dans le secteur pharmaceutique français	G 9809	X. BONNET - E. DUBOIS - L. FAUVET Asymétrie des inflations relatives et menus costs : tests sur l'inflation française	G 9914	E. DUGUET Macro-commandes SAS pour l'économétrie des panels et des variables qualitatives
G 9611	X. BONNET - S. MAHFOUZ The influence of different specifications of wages-prices spirals on the measure of the NAIRU: the case of France	G 9717	E. DUGUET - I. KABLA Appropriation strategy and the motivations to use the patent system in France - An econometric analysis at the firm level	G 9810	E. DUGUET - N. IUNG Sales and Advertising with Spillovers at the firm level: Estimation of a Dynamic Structural Model on Panel Data	G 9915	R. DUHAUTOIS Évolution des flux d'emplois en France entre 1990 et 1996 : une étude empirique à partir du fichier des bénéfices réels normaux (BRN)
G 9612	Ph. COUR - E. DUBOIS, S. MAHFOUZ, J. PISANI-FERRY The cost of fiscal retrenchment revisited: how strong is the evidence?	G 9718	L.P. PELÉ - P. RALLE Âge de la retraite : les aspects incitatifs du régime général	G 9811	J.P. BERTHIER Congestion urbaine : un modèle de trafic de pointe à courbe débit-vitesse et demande élastique	G 9916	J.Y. FOURNIER Extraction du cycle des affaires : la méthode de Baxter et King
G 9613	A. JACQUOT Les flexions des taux d'activité sont-elles seulement conjoncturelles ?	G 9719	ZHANG Yingxiang - SONG Xueqing Lexique macroéconomique français-chinois, chinois-français	G 9812	C. PRIGENT La part des salaires dans la valeur ajoutée : une approche macroéconomique	G 9917	B. CRÉPON - R. DESPLATZ - J. MAIRESSE Estimating price cost margins, scale economies and workers' bargaining power at the firm level
G 9614	ZHANG Yingxiang - SONG Xueqing Lexique macroéconomique Français-Chinois	G 9720	M. HOUEBINE - J.L. SCHNEIDER Mesurer l'influence de la fiscalité sur la localisation des entreprises	G 9813	A.Th. AERTS L'évolution de la part des salaires dans la valeur ajoutée en France reflète-t-elle les évolutions individuelles sur la période 1979-1994 ?	G 9918	Ch. GIANELLA - Ph. LAGARDE Productivity of hours in the aggregate production function: an evaluation on a panel of French firms from the manufacturing sector
G 9701	J.L. SCHNEIDER La taxe professionnelle : éléments de cadrage économique	G 9721	A. MOURUGANE Crédibilité, indépendance et politique monétaire Une revue de la littérature	G 9814	B. SALANIÉ Guide pratique des séries non-stationnaires	G 9919	S. AUDRIC - P. GIVORD - C. PROST Évolution de l'emploi et des coûts par qualification entre 1982 et 1996
G 9702	J.L. SCHNEIDER Transition et stabilité politique d'un système redistributif	G 9722	P. AUGERAUD - L. BRIOT Les données comptables d'entreprises Le système intermédiaire d'entreprises Passage des données individuelles aux données sectorielles	G 9901	S. DUCHÊNE - A. JACQUOT Une croissance plus riche en emplois depuis le début de la décennie ? Une analyse en comparaison internationale	G 2000/01	R. MAHIEU Les déterminants des dépenses de santé : une approche macroéconomique
G 9703	D. GOUX - E. MAURIN Train or Pay: Does it Reduce Inequalities to Encourage Firms to Train their Workers?	G 9723	P. AUGERAUD - J.E. CHAPRON Using Business Accounts for Compiling National Accounts: the French Experience	G 9902	Ch. COLIN Modélisation des carrières dans Destinie	G 2000/02	C. ALLARD-PRIGENT - H. GUILMEAU - A. QUINET The real exchange rate as the relative price of nontrables in terms of tradables: theoretical investigation and empirical study on French data
G 9704	P. GENIER Deux contributions sur dépendance et équité	G 9724	P. AUGERAUD Les comptes d'entreprise par activités - Le passage aux comptes - De la comptabilité d'entreprise à la comptabilité nationale - A paraître	G 9904	B. CREPON - N. IUNG Innovation, emploi et performances	G 2000/03	J.-Y. FOURNIER L'approximation du filtre passe-bande proposée par Christiano et Fitzgerald
G 9705	E. DUGUET - N. IUNG R & D Investment, Patent Life and Patent Value An Econometric Analysis at the Firm Level	G 9801	H. MICHAUDON - C. PRIGENT Présentation du modèle AMADEUS	G 9905	B. CREPON - Ch. GIANELLA Wages inequalities in France 1969-1992 An application of quantile regression techniques	G 2000/04	Bilan des activités de la DESE - 1999
G 9706	M. HOUEBINE - A. TOPIOL-BENSAÏD Les entreprises internationales en France : une analyse à partir de données individuelles	G 9802	J. ACCARDO Une étude de comptabilité générationnelle pour la France en 1996	G 9906	C. BONNET - R. MAHIEU Microsimulation techniques applied to inter-generational transfers - Pensions in a dynamic framework: the case of France	G 2000/05	B. CREPON - F. ROSENWALD Investissement et contraintes de financement : le poids du cycle Une estimation sur données françaises
G 9707	M. HOUEBINE Polarisation des activités et spécialisation des départements en France	G 9803	X. BONNET - S. DUCHÊNE Apports et limites de la modélisation « Real Business Cycles »	G 9907	F. ROSENWALD L'impact des contraintes financières dans la décision d'investissement	G 2000/06	A. FLIPO Les comportements matrimoniaux de fait
G 9708	E. DUGUET - N. GREENAN Le biais technologique : une analyse sur données individuelles	G 9804	D. ENCAOUA - J. PRADEL The Commercial Success of Innovations An econometric analysis at the firm level in French manufacturing	G 9908	Bilan des activités de la DESE - 1998	G 2000/07	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Microsimulations of the retirement decision: a supply side approach
G 9709	J.L. BRILLET Analyzing a small French ECM Model	G 9805	P. CAHUC - Ch. GIANELLA - D. GOUX - A. ZILBERBERG Equalizing Wage Differences and Bargaining Power - Evidence from a Panel of French Firms	G 9909	J.P. ZOYEM Contrat d'insertion et sortie du RMI Évaluation des effets d'une politique sociale	G 2000/08	C. AUDENIS - C. PROST Déficit conjoncturel : une prise en compte des conjonctures passées
G 9710	J.L. BRILLET Formalizing the transition process: scenarios for capital accumulation			G 9910	Ch. COLIN - F. LEGROS - R. MAHIEU Bilans contributifs comparés des régimes de retraite du secteur privé et de la fonction publique	G 2000/09	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Équivalent patrimonial de la rente et souscription de retraite complémentaire
G 9711	G. FORGEOT - J. GAUTIÉ Insertion professionnelle des jeunes et processus de déclassement			G 9911	G. LAROQUE - B. SALANIÉ Une décomposition du non-emploi en France	G 2000/10	R. DUHAUTOIS Ralentissement de l'investissement : petites ou grandes entreprises ? industrie ou tertiaire ?

G 9912	B. SALANIÉ Une maquette analytique de long terme du marché du travail	G 9912 Bis	Ch. GIANELLA Une estimation de l'élasticité de l'emploi peu qualifié à son coût	G 9913	Division « Redistribution et Politiques Sociales » Le modèle de microsimulation dynamique DESTINIE	G 9914	E. DUGUET Macro-commandes SAS pour l'économétrie des panels et des variables qualitatives	G 9915	R. DUHAUTOIS Évolution des flux d'emplois en France entre 1990 et 1996 : une étude empirique à partir du fichier des bénéfices réels normaux (BRN)	G 9916	J.Y. FOURNIER Extraction du cycle des affaires : la méthode de Baxter et King	G 9917	B. CRÉPON - R. DESPLATZ - J. MAIRESSE Estimating price cost margins, scale economies and workers' bargaining power at the firm level	G 9918	Ch. GIANELLA - Ph. LAGARDE Productivity of hours in the aggregate production function: an evaluation on a panel of French firms from the manufacturing sector	G 9919	S. AUDRIC - P. GIVORD - C. PROST Évolution de l'emploi et des coûts par qualification entre 1982 et 1996	G 2000/01	R. MAHIEU Les déterminants des dépenses de santé : une approche macroéconomique	G 2000/02	C. ALLARD-PRIGENT - H. GUILMEAU - A. QUINET The real exchange rate as the relative price of nontrables in terms of tradables: theoretical investigation and empirical study on French data	G 2000/03	J.-Y. FOURNIER L'approximation du filtre passe-bande proposée par Christiano et Fitzgerald	G 2000/04	Bilan des activités de la DESE - 1999	G 2000/05	B. CREPON - F. ROSENWALD Investissement et contraintes de financement : le poids du cycle Une estimation sur données françaises	G 2000/06	A. FLIPO Les comportements matrimoniaux de fait	G 2000/07	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Microsimulations of the retirement decision: a supply side approach	G 2000/08	C. AUDENIS - C. PROST Déficit conjoncturel : une prise en compte des conjonctures passées	G 2000/09	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Équivalent patrimonial de la rente et souscription de retraite complémentaire	G 2000/10	R. DUHAUTOIS Ralentissement de l'investissement : petites ou grandes entreprises ? industrie ou tertiaire ?
--------	--	------------	--	--------	---	--------	--	--------	---	--------	--	--------	---	--------	--	--------	---	-----------	--	-----------	---	-----------	---	-----------	---------------------------------------	-----------	---	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--	-----------	--

G 2000/11	G. LAROQUE - B. SALANIÉ Temps partiel féminin et incitations financières à l'emploi	
G2000/12	Ch. GIANELLA Local unemployment and wages	
G2000/13	B. CRÉPON - Th. HECKEL - Informatisation en France : une évaluation à partir de données individuelles - Computerization in France: an evaluation based on individual company data	
G2001/01	F. LEQUILLER - La nouvelle économie et la mesure de la croissance du PIB - The new economy and the measure ment of GDP growth	
G2001/02	S. AUDRIC La reprise de la croissance de l'emploi profite-t-elle aussi aux non-diplômés ?	
G2001/03	I. BRAUN-LEMAIRE Évolution et répartition du surplus de productivité	
G2001/04	A. BEAUDU - Th. HECKEL Le canal du crédit fonctionne-t-il en Europe ? Une étude de l'hétérogénéité des comportements d'investissement à partir de données de bilan agrégées	
G2001/05	C. AUDENIS - P. BISCOURP - N. FOURCADE - O. LOISEL Testing the augmented Solow growth model: An empirical reassessment using panel data	
G2001/06	R. MAHIEU - B. SÉDILLOT Départ à la retraite, irréversibilité et incertitude	
G2001/07	Bilan des activités de la DESE - 2000	
G2001/08	J. Ph. GAUDEMET Les dispositifs d'acquisition à titre facultatif d'annuités viagères de retraite	
G2001/09	B. CRÉPON - Ch. GIANELLA Fiscalité, coût d'usage du capital et demande de facteurs : une analyse sur données individuelles	
G2001/10	B. CRÉPON - R. DESPLATZ Évaluation des effets des dispositifs d'allègements de charges sociales sur les bas salaires	
G2001/11	J.-Y. FOURNIER Comparaison des salaires des secteurs public et privé	
G2001/12	J.-P. BERTHIER - C. JAULENT R. CONVENEVOLE - S. PISANI Une méthodologie de comparaison entre consommations intermédiaires de source fiscale et de comptabilité nationale	
G2001/13	P. BISCOURP - Ch. GIANELLA Substitution and complementarity between capital, skilled and less skilled workers: an analysis at the firm level in the French manufacturing industry	
G2001/14	I. ROBERT-BOBEE Modelling demographic behaviours in the French microsimulation model Destinie: An analysis of future change in completed fertility	
G2001/15	J.-P. ZOYEM Diagnostic sur la pauvreté et calendrier de	

G2004/04	A. NABOULET - S. RASPILLER Les déterminants de la décision d'investir : une approche par les perceptions subjectives des firmes	dans le système de retraite des salariés du privé - Une approche par microsimulation - Intragenerational distributional analysis in the french private sector pension scheme - A microsimulation approach
G2004/05	N. RAGACHE La déclaration des enfants par les couples non mariés est-elle fiscalement optimale ?	P. CHONE - D LE BLANC - I ROBERT-BOBEE Offre de travail féminine et garde des jeunes enfants
G2004/06	M. DUÉE L'impact du chômage des parents sur le devenir scolaire des enfants	F. MAUREL - S. GREGOIR Les indices de compétitivité des pays : interprétation et limites
G2004/07	P. AUBERT - E. CAROLI - M. ROGER New Technologies, Workplace Organisation and the Age Structure of the Workforce: Firm-Level Evidence	N. RIEDINGER - E HAUUVY Le coût de dépollution atmosphérique pour les entreprises françaises : Une estimation à partir de données individuelles
G2004/08	E. DUGUET - C. LELARGE Les brevets accroissent-ils les incitations privées à innover ? Un examen microéconométrique	P. BISCOURP et F. KRAMARZ Création d'emplois, destruction d'emplois et internationalisation des entreprises industrielles françaises : une analyse sur la période 1986-1992
G2004/09	S. RASPILLER - P. SILLARD Affiliating versus Subcontracting: the Case of Multinationals	Bilan des activités de la DESE - 2002 P.-O. BEFFY - J. DEROYON - N. FOURCADE - S. GREGOIR - N. LAÏB - B. MONFORT Évolutions démographiques et croissance : une projection macro-économique à l'horizon 2020
G2004/11	S. ANANIAN - P. AUBERT Travailleurs âgés, nouvelles technologies et changements organisationnels : un réexamen à partir de l'enquête « REPONSE »	P. AUBERT La situation des salariés de plus de cinquante ans dans le secteur privé
G2004/12	X. BONNET - H. PONCET Structures de revenus et propensions différentes à consommer - Vers une équation de consommation des ménages plus robuste en prévision pour la France	P. AUBERT - B. CRÉPON Age, salaire et productivité La productivité des salariés décline-t-elle en fin de carrière ?
G2004/13	C. PICART Évaluer la rentabilité des sociétés non financières	H. BARON - P.O. BEFFY - N. FOURCADE - R. MAHIEU Le ralentissement de la productivité du travail au cours des années 1990
G2004/14	J. BARDAJLI - B. SÉDILLOT - E. WALRAET Les retraites du secteur public : projections à l'horizon 2040 à l'aide du modèle de microsimulation DESTINIE	P.-O. BEFFY - B. MONFORT Patrimoine des ménages, dynamique d'allocation et comportement de consommation
G2005/01	S. BUFFETEAU - P. GODEFFROY Conditions de départ en retraite selon l'âge de fin d'études : analyse prospective pour les générations 1945 à 1974	P. BISCOURP - N. FOURCADE Peut-on mettre en évidence l'existence de rigidités à la baisse des salaires à partir de données individuelles ? Le cas de la France à la fin des années 90
G2005/02	C. AFSA - S. BUFFETEAU L'évolution de l'activité féminine en France : une approche par pseudo-panel	M. LECLAIR - P. PETIT Présence syndicale dans les firmes : quel impact sur les inégalités salariales entre les hommes et les femmes ?
G2005/03	P. AUBERT - P. SILLARD Délocalisations et réductions d'effectifs dans l'industrie française	P.-O. BEFFY - X. BONNET - M. DARRACQ-PARIES - B. MONFORT MZE: a small macro-model for the euro area
G2005/04	M. LECLAIR - S. ROUX Mesure et utilisation des emplois instables dans les entreprises	P. AUBERT - M. LECLAIR La compétitivité exprimée dans les enquêtes trimestrielles sur la situation et les perspectives dans l'industrie
G2005/05	C. L'ANGEVIN - S. SERRAVALLE Performances à l'exportation de la France et de l'Allemagne - Une analyse par secteur et destination géographique	M. DUÉE - C. REBILLARD La dépendance des personnes âgées : une projection à long terme
G2005/06	Bilan des activités de la Direction des Études et Synthèses Économiques - 2004	S. RASPILLER - N. RIEDINGER Régulation environnementale et choix de localisation des groupes français
G2005/07	S. RASPILLER La concurrence fiscale : principaux enseignements de l'analyse économique	

G2005/08	C. L'ANGEVIN - N. LAÏB Éducation et croissance en France et dans un panel de 21 pays de l'OCDE	G2006/09	X. BOUTIN - S. QUANTIN Une méthodologie d'évaluation comptable du coût du capital des entreprises françaises : 1984-2002
G2005/09	N. FERRARI Prévoir l'investissement des entreprises Un indicateur des révisions dans l'enquête de conjoncture sur les investissements dans l'industrie.	G2006/10	C. AFSA L'estimation d'un coût implicite de la pénibilité du travail chez les travailleurs âgés
G2005/10	P.-O. BEFFY - C. L'ANGEVIN Chômage et boucle prix-salaires : apport d'un modèle « qualifiés/peu qualifiés »	G2006/11	C. LELARGE Les entreprises (industrielles) françaises sont-elles à la frontière technologique ?
G2005/11	B. HEITZ A two-states Markov-switching model of inflation in France and the USA: credible target VS inflation spiral	G2006/12	O. BIAU - N. FERRARI Faut-il pondérer les réponses individuelles ?
G2005/12	O. BIAU - H. ERKEL-ROUSSE - N. FERRARI Réponses individuelles aux enquêtes de conjoncture et prévision macroéconomiques : Exemple de la prévision de la production manufacturière	G2006/13	A. KOUBI - S. ROUX Une réinterprétation de la relation entre productivité et inégalités salariales dans les entreprises
G2005/13	P. AUBERT - D. BLANCHET - D. BLAU The labour market after age 50: some elements of a Franco-American comparison	G2006/14	R. RATHELOT - P. SILLARD The impact of local taxes on plants location decision
G2005/14	D. BLANCHET - T. DEBRAND - P. DOURGNON - P. POLLET L'enquête SHARE : présentation et premiers résultats de l'édition française	G2006/15	L. GONZALEZ - C. PICART Diversification, recentrage et poids des activités de support dans les groupes (1993-2000)
G2005/15	M. DUÉE La modélisation des comportements démographiques dans le modèle de microsimulation DESTINIE	G2007/01	D. SRAER Allègements de cotisations patronales et dynamique salariale
G2005/16	H. RAOUI - S. ROUX Étude de simulation sur la participation versée aux salariés par les entreprises	G2007/02	V. ALBOUY - L. LEQUIEN Les rendements non monétaires de l'éducation : le cas de la santé
G2006/01	C. BONNET - S. BUFFETEAU - P. GODEFROY Disparités de retraite de droit direct entre hommes et femmes : quelles évolutions ?	G2007/03	D. BLANCHET - T. DEBRAND Aspiration à la retraite, santé et satisfaction au travail : une comparaison européenne
G2006/02	C. PICART Les gazelles en France	G2007/04	M. BARLET - L. CRUSSON Quel impact des variations du prix du pétrole sur la croissance française ?
G2006/03	P. AUBERT - B. CRÉPON - P. ZAMORA Le rendement apparent de la formation continue dans les entreprises : effets sur la productivité et les salaires	G2007/05	C. PICART Flux d'emploi et de main-d'œuvre en France : un réexamen
G2006/04	J.-F. OUVARD - R. RATHELOT Demographic change and unemployment: what do macroeconomic models predict?	G2007/06	V. ALBOUY - C. TAVAN Massification et démocratisation de l'enseignement supérieur en France
G2006/05	D. BLANCHET - J.-F. OUVARD Indicateurs d'engagements implicites des systèmes de retraite : chiffrages, propriétés analytiques et réactions à des chocs démographiques types	G2007/07	T. LE BARBANCHON The Changing response to oil price shocks in France: a DSGE type approach
G2006/06	G. BIAU - O. BIAU - L. ROUVIERE Nonparametric Forecasting of the Manufacturing Output Growth with Firm-level Survey Data	G2007/08	T. CHANEY - D. SRAER - D. THESMAR Collateral Value and Corporate Investment Evidence from the French Real Estate Market
G2006/07	C. AFSA - P. GIVORD Le rôle des conditions de travail dans les absences pour maladie	G2007/09	J. BOISSINOT Consumption over the Life Cycle: Facts for France
G2006/08	P. SILLARD - C. L'ANGEVIN - S. SERRAVALLE Performances comparées à l'exportation de la France et de ses principaux partenaires Une analyse structurelle sur 12 ans	G2007/10	C. AFSA Interpréter les variables de satisfaction : l'exemple de la durée du travail
		G2007/11	R. RATHELOT - P. SILLARD Zones Franches Urbaines : quels effets sur l'emploi salarié et les créations d'établissements ?
		G2007/12	V. ALBOUY - B. CRÉPON Aléa moral en santé : une évaluation dans le cadre du modèle causal de Rubin

G2009/06	C. PICART Les PME françaises : rentables mais peu dynamiques	G2008/01	L. DAVEZIES - X. D'HAULTFOEUILLE Faut-il pondérer ?... Ou l'éternelle question de l'éconémètre confronté à des données d'enquête
G2009/07	P. BISCOURP - X. BOUTIN - T. VERGÉ The Effects of Retail Regulations on Prices Evidence from the Loi Galland	G2008/02	S. QUANTIN - S. RASPILLER - S. SERRAVALLE Commerce intragroupe, fiscalité et prix de transferts : une analyse sur données françaises
G2009/08	Y. BARBESOL - A. BRIANT Économies d'agglomération et productivité des entreprises : estimation sur données individuelles françaises	G2008/03	M. CLERC - V. MARCUS Elasticités-prix des consommations énergétiques des ménages
G2009/09	D. BLANCHET - F. LE GALLO Les projections démographiques : principaux mécanismes et retour sur l'expérience française	G2008/04	G. LALANNE - E. POULIQUEN - O. SIMON Prix du pétrole et croissance potentielle à long terme
G2009/10	D. BLANCHET - F. TOUTLEMONDE Évolutions démographiques et déformation du cycle de vie active : quelles relations ?	G2008/05	D. BLANCHET - J. LE CACHEUX - V. MARCUS Adjusted net savings and other approaches to sustainability: some theoretical background
G2009/11	M. BARLET - D. BLANCHET - L. CRUSSON Internationalisation et flux d'emplois : que dit une approche comptable ?	G2008/06	V. BELLAMY - G. CONSALES - M. FESSEAU - S. LE LADIER - É. RAYNAUD Une décomposition du compte des ménages de la comptabilité nationale par catégorie de ménage en 2003
G2009/12	C. LELARGE - D. SRAER - D. THESMAR Entrepreneurship and Credit Constraints - Evidence from a French Loan Guarantee Program	G2008/07	J. BARDAJI - F. TALLET Detecting Economic Regimes in France: a Qualitative Markov-Switching Indicator Using Mixed Frequency Data
G2009/13	X. BOUTIN - L. JANIN Are Prices Really Affected by Mergers?	G2008/08	R. AEBERHARDT - D. FOUGÈRE - R. RATHELOT Discrimination à l'embauche : comment exploiter les procédures de testing ?
G2009/14	M. BARLET - A. BRIANT - L. CRUSSON Concentration géographique dans l'industrie manufacturière et dans les services en France : une approche par un indicateur en continu	G2008/09	Y. BARBESOL - P. GIVORD - S. QUANTIN Partage de la valeur ajoutée, approche par données microéconomiques
G2009/15	M. BEFFY - É. COUDIN - R. RATHELOT Who is confronted to insecure labor market histories? Some evidence based on the French labor market transition	G2008/10	I. BUONO - G. LALANNE The Effect of the Uruguay round on the Intensive and Extensive Margins of Trade
G2010/01	M. ROGER - E. WALRAET Social Security and Well-Being of the Elderly: the Case of France	G2008/11	C. MINODIER Avantages comparés des séries des premières valeurs publiées et des séries des valeurs révisées - Un exercice de prévision en temps réel
G2010/02	C. AFSA Analyser les composantes du bien-être et de son évolution	G2008/12	de la croissance trimestrielle du PIB en France
G2010/03	M. BARLET - D. BLANCHET - T. LE BARBANCHON Microsimuler le marché du travail : un prototype	G2009/01	V. ALBOUY - L. DAVEZIES - T. DEBRAND Health Expenditure Models: a Comparison of Five Specifications using Panel Data
G2010/04	P.-A. PIONNIER Le partage de la valeur ajoutée en France, 1949-2007	G2009/02	C. KLEIN - O. SIMON Le modèle MESANGE réestimé en base 2000 Tome 1 – Version avec volumes à prix constants
G2010/05	Laurent CLAVEL - Christelle MINODIER A Monthly Indicator of the French Business Climate	G2009/03	M.-É. CLERC - É. COUDIN L'IPC, miroir de l'évolution du coût de la vie en France ? Ce qu'apporte l'analyse des courbes d'Engel
G2010/06	H. ERKEL-ROUSSE - C. MINODIER Do Business Tendency Surveys in Industry and Services Help in Forecasting GDP Growth? A Real-Time Analysis on French Data	G2009/04	N. CECRENAUD - P.-A. CHEVALIER Les seuils de 10, 20 et 50 salariés : impact sur la taille des entreprises françaises
	P. GIVORD - L. WILNER Les contrats temporaires : trappe ou marchepied vers l'emploi stable ?	G2009/05	R. AEBERHARDT - J. POUGET National Origin Differences in Wages and Hierarchical Positions - Evidence on French Full-Time Male Workers from a matched Employer-Employee Dataset
	G. LALANNE - P.-A. PIONNIER - O. SIMON Le partage des fruits de la croissance de 1950 à 2008 : une approche par les comptes de surplus		

G2010/07	S. BLASCO - P. GIVORD Les trajectoires professionnelles en début de vie active : quel impact des contrats temporaires ?	L'impact des perturbations financières de 2007 et 2008 sur la croissance de sept pays industrialisés	G2012/06	P. AUBERT - M. BACHELET Disparités de montant de pension et redistribution dans le système de retraite français	G2013/09	J-B. BERNARD - G. CLÉAUD Oil price: the nature of the shocks and the impact on the French economy
G2010/08	P. GIVORD Méthodes économétriques pour l'évaluation de politiques publiques	P. CHARNOTZ - É. COUDIN - M. GAINI Wage inequalities in France 1976-2004: a quantile regression analysis	G2012/07	R. AEBERHARDT - P. GIVORD - C. MARBOT Spillover Effect of the Minimum Wage in France: An Unconditional Quantile Regression Approach	G2013/10	G. LAME Was there a « Greenspan Conundrum » in the Euro area?
G2010/09	P.-Y. CABANNES - V. LAPÈGUE - E. POULIQUEN - M. BEFFY - M. GAINI Quelle croissance de moyen terme après la crise ?	M. CLERC - M. GAINI - D. BLANCHET Recommendations of the Stiglitz-Sen-Fitoussi Report: A few illustrations	G2012/08	A. EIDELMAN - F. LANGUMIER - A. VICARD Prélèvements obligatoires reposant sur les ménages : des canaux redistributifs différents en 1990 et 2010	G2013/11	P. CHONÉ - F. EVAIN - L. WILNER - E. YILMAZ Introducing activity-based payment in the hospital industry : Evidence from French data
G2010/10	I. BUONO - G. LALANNE La réaction des entreprises françaises à la baisse des tarifs douaniers étrangers	M. BACHELET - M. BEFFY - D. BLANCHET Projeter l'impact des réformes des retraites sur l'activité des 55 ans et plus : une comparaison de trois modèles	G2012/09	O. BARGAIN - A. VICARD Le RMI et son successeur le RSA découragent-ils certains jeunes de travailler ? Une analyse sur les jeunes autour de 25 ans	G2013/12	C. GRISLAIN-LETREMY Natural Disasters: Exposure and Underinsurance
G2010/11	R. RATHELOT - P. SILLARD L'apport des méthodes à noyaux pour mesurer la concentration géographique - Application à la concentration des immigrés en France de 1968 à 1999	C. LOUVOT-RUNAVOT L'évaluation de l'activité dissimulée des entreprises sur la base des contrôles fiscaux et son insertion dans les comptes nationaux	G2012/10	C. MARBOT - D. ROY Projections du coût de l'APA et des caractéristiques de ses bénéficiaires à l'horizon 2040 à l'aide du modèle Destinée	G2013/13	P.-Y. CABANNES - V. COTTET - Y. DUBOIS - C. LELARGE - M. SICSIC French Firms in the Face of the 2008/2009 Crisis
G2010/12	M. BARATON - M. BEFFY - D. FOUGÈRE Une évaluation de l'effet de la réforme de 2003 sur les départs en retraite - Le cas des enseignants du second degré public	A. SCHREIBER - A. VICARD La tertiarisation de l'économie française et le ralentissement de la productivité entre 1978 et 2008	G2012/11	A. MAUROUX Le crédit d'impôt dédié au développement durable : une évaluation économétrique	G2013/15	G. CLÉAUD - M. LEMOINE - P.-A. PIONNIER Which size and evolution of the government expenditure multiplier in France (1980-2010)?
G2010/13	D. BLANCHET - S. BUFFETEAU - E. CRENNER S. LE MINEZ Le modèle de microsimulation Destinée 2 : principales caractéristiques et premiers résultats	M.-É. CLERC - O. MONSO - E. POULIQUEN Les inégalités entre générations depuis le baby-boom	G2012/12	V. COTTET - S. QUANTIN - V. RÉGNIER Coût du travail et allègements de charges : une estimation au niveau établissement de 1996 à 2008	G2014/01	M. BACHELET - A. LEDUC - A. MARINO Les biographies du modèle Destinée II : rebasage et projection
G2010/14	D. BLANCHET - E. CRENNER Le bloc retraites du modèle Destinée 2 : guide de l'utilisateur	C. MARBOT - D. ROY Évaluation de la transformation de la réduction d'impôt en crédit d'impôt pour l'emploi de salariés à domicile en 2007	G2012/13	X. D'HAULTFOEUILLE - P. FÉVRIER - L. WILNER Demand Estimation in the Presence of Revenue Management	G2014/02	B. GARBINTI L'achat de la résidence principale et la création d'entreprises sont-ils favorisés par les donations et héritages ?
G2010/15	M. BARLET - L. CRUSSON - S. DUPUCH - F. PUECH Des services échangés aux services échangeables : une application sur données françaises	P. GIVORD - R. RATHELOT - P. SILLARD Place-based tax exemptions and displacement effects: An evaluation of the Zones Franches Urbaines program	G2012/14	D. BLANCHET - S. LE MINEZ Joint macro/micro evaluations of accrued-to-date pension liabilities: an application to French reforms	G2014/03	N. CECI-RENAUD - P. CHARNOZ - M. GAINI Évolution de la volatilité des revenus salariaux du secteur privé en France depuis 1988
G2010/16	M. BEFFY - T. KAMIONKA Public-private wage gaps: is civil-servant human capital sector-specific?	X. D'HAULTFOEUILLE - P. GIVORD - X. BOUTIN The Environmental Effect of Green Taxation: the Case of the French "Bonus/Malus"	G2013/01-F1301	T. DEROVON - A. MONTAUT - P-A PIONNIER Utilisation rétrospective de l'enquête Emploi à une fréquence mensuelle : apport d'une modélisation espace-état	G2014/04	P. AUBERT Modalités d'application des réformes des retraites et prévisibilité du montant de pension
G2010/17	P.-Y. CABANNES - H. ERKEL-ROUSSE - G. LALANNE - O. MONSO - E. POULIQUEN Le modèle Mésange réestimé en base 2000 Tome 2 - Version avec volumes à prix chaînés	M. BARLET - M. CLERC - M. GARNEO - V. LAPÈGUE - V. MARCUS La nouvelle version du modèle MZE, modèle macroéconométrique pour la zone euro	G2013/02-F1302	C. TREVIEN Habiter en HLM : quel avantage monétaire et quel impact sur les conditions de logement ?	G2014/05	C. GRISLAIN-LETREMY - A. KATOSSKY The Impact of Hazardous Industrial Facilities on Housing Prices: A Comparison of Parametric and Semiparametric Hedonic Price Models
G2010/18	R. AEBERHARDT - L. DAVEZIES Conditional Logit with one Binary Covariate: Link between the Static and Dynamic Cases	R. AEBERHARDT - I. BUONO - H. FADINGER Learning, Incomplete Contracts and Export Dynamics: Theory and Evidence from French Firms	G2013/03	A. POISSONNIER Temporal disaggregation of stock variables - The Chow-Lin method extended to dynamic models	G2014/06	J.-M. DAUSSIN-BENICHO - A. MAUROUX Turning the heat up. How sensitive are households to fiscal incentives on energy efficiency investments?
G2011/01	T. LE BARBANCHON - B. OURLIAC - O. SIMON Les marchés du travail français et américain face aux chocs conjoncturels des années 1986 à 2007 : une modélisation DSGE	C. KERDRIN - V. LAPÈGUE Restrictive Fiscal Policies in Europe: What are the Likely Effects?	G2013/04	P. GIVORD - C. MARBOT Does the cost of child care affect female labor market participation? An evaluation of a French reform of childcare subsidies	G2014/07	C. LABONNE - G. LAMÉ Credit Growth and Capital Requirements: Binding or Not?
G2011/02	C. MARBOT Une évaluation de la réduction d'impôt pour l'emploi de salariés à domicile	P. GIVORD - S. QUANTIN - C. TREVIEN A Long-Term Evaluation of the First Generation of the French Urban Enterprise Zones	G2013/05	G. LAME - M. LEQUIEN - P.-A. PIONNIER Interpretation and limits of sustainability tests in public finance	G2014/08	C. GRISLAIN-LETREMY et C. TREVIEN The Impact of Housing Subsidies on the Rental Sector: the French Example
G2011/03	L. DAVEZIES Modèles à effets fixes, à effets aléatoires, modèles mixtes ou multi-niveaux : propriétés et mises en œuvre des modélisations de l'hétérogénéité dans le cas de données groupées	N. CECI-RENAUD - V. COTTET Politique salariale et performance des entreprises	G2013/06	C. BELLEGO - V. DORTET-BERNADET La participation aux pôles de compétitivité : quelle incidence sur les dépenses de R&D et l'activité des PME et ETI ?	G2014/09	M. LEQUIEN et A. MONTAUT Croissance potentielle en France et en zone euro : un tour d'horizon des méthodes d'estimation
G2011/04	M. ROGER - M. WASMER Heterogeneity matters: labour productivity differentiated by age and skills	P. FÉVRIER - L. WILNER Do Consumers Correctly Expect Price Reductions? Testing Dynamic Behavior	G2013/07	P.-Y. CABANNES - A. MONTAUT - P.-A. PIONNIER Évaluer la productivité globale des facteurs en France : l'apport d'une mesure de la qualité du capital et du travail	G2014/10	B. GARBINTI - P. LAMARCHE Les hauts revenus épargnent-ils davantage ?
G2011/05	J.-C. BRICONGNE - J.-M. FOURNIER V. LAPÈGUE - O. MONSO De la crise financière à la crise économique	M. GAINI - A. LEDUC - A. VICARD School as a shelter? School leaving-age and the business cycle in France	G2013/08	R. AEBERHARDT - C. MARBOT Evolution of instability on the French Labour Market During the Last Thirty Years	G2014/11	D. AUDENAERT - J. BARDAIL - R. LARDEUX - M. ORAND - M. SICSIC Wage Resilience in France since the Great Recession
		M. GAINI - A. LEDUC - A. VICARD A scared generation? French evidence on young people entering into a tough labour market			G2014/12	F. ARNAUD - J. BOUSSARD - A. POISSONNIER - H. SOUL

G2014/13	Computing additive contributions to growth and other issues for chain-linked quarterly aggregates	H. FRAISSE - F. KRAMARZ - C. PROST Labor Disputes and Job Flows
G2014/14	How does fuel taxation impact new car purchases? An evaluation using French consumer-level dataset	P. GIVORD - C. GRISLAIN-LETRÉMY - H. NAEGELE
G2014/15	Durée passée en carrière et durée de vie en retraite : quel partage des gains d'espérance de vie ?	P. AUBERT - S. RABATÉ
G2015/01	The walking dead Euler equation Addressing a challenge to monetary policy models	A. POISSONNIER
G2015/02	Indicateurs de rendement du système de retraite français	Y. DUBOIS - A. MARINO
G2015/03	The impacts of Urban Public Transportation: Evidence from the Paris Region	T. MAYER - C. TREVIEN
G2015/04	Measuring Social Environment Mobility	S.T. LY - A. RIEGERT
G2015/05	Quel est l'impact du système d'indemnisation maladie sur la durée des arrêts de travail pour maladie ?	M. A. BEN HALIMA - V. HYAFIL-SOLELHAC M. KOUBI - C. REGAERT
G2015/06	Disparités de rendement du système de retraite dans le secteur privé : approches intergénérationnelle et intragénérationnelle	Y. DUBOIS - A. MARINO
G2015/07	No evidence of financial accelerator in France	B. CAMPAGNE - V. ALHENC-CELAS - J.-B. BERNARD
G2015/08	Élasticités des recettes fiscales au cycle économique : étude de trois impôts sur la période 1979-2013 en France	Q. LAFFÈTER - M. PAK
G2015/09	Les déterminants de l'attractivité de la fonction publique de l'État	J.-M. DAUSSIN-BENICHOUL, S. IDMACHICHE, A. LEDUC et E. POULIQUEN
G2015/10	La modulation du montant de pension selon la durée de carrière et l'âge de la retraite : quelles disparités entre assurés ?	P. AUBERT
G2015/11	Effet des aides publiques sur l'emploi en R&D dans les petites entreprises	V. DORTET-BERNADET - M. SICISIC
G2015/12	Annual and lifetime incidence of the value-added tax in France	S. GEORGES-KOT
G2015/13	Are Enterprise Zones Benefits Capitalized into Commercial Property Values? The French Case	M. POULHÈS
G2015/14	Effet de l'activité et des prix sur le revenu salarial des différentes catégories socioprofessionnelles	J.-B. BERNARD - Q. LAFFÈTER

G2017/03	A. CAZENAVE-LACROUTZ - F. GODET L'espérance de vie en retraite sans incapacité sévère des générations nées entre 1960 et 1990 : une projection à partir du modèle Destinie	G2018/08	A. BAUER - B. GARBINTI - S. GEORGES-KOT Financial Constraints and Self-Employment in France, 1945-2014
G2017/04	J. BARDAJLI - B. CAMPAGNE - M.-B. KHDER - Q. LAFFÈTER - O. SIMON (Insee) A.-S. DUFRERNEZ - C. ELEZAAR - P. LEBLANC - E. MASSON - H. PARTOUCHE (DG-Trésor) Le modèle macroéconométrique Mésange : reestimation et nouveautés	G2018/09	P. BEAUMONT - A. LUCIANI Prime à l'embauche dans les PME : évaluation à partir des déclarations d'embauche
G2017/05	J. BOUSSARD - B. CAMPAGNE Fiscal Policy Coordination in a Monetary Union at the Zero-Lower-Bound	G2018/10	C. BELLÉGO - V. DORTET-BERNADET - M. TELLAUT Comparaison de deux dispositifs d'aide à la R&D collaborative public-privé
G2017/06	A. CAZENAVE-LACROUTZ - A. GODZINSKI Effects of the one-day waiting period for sick leave on health-related absences in the French central civil service	G2018/11	R. MONIN - M. SUAREZ CASTILLO Réplication et rapprochement des travaux d'évaluation de l'effet du CICE sur l'emploi en 2013 et 2014
G2017/07	P. CHARNOZ - M. ORAND Qualification, progrès technique et marchés du travail locaux en France, 1990-2011	G2018/12	A. CAZENAVE-LACROUTZ - F. GODET - V. LIN L'introduction d'un gradient social dans la mortalité au sein du modèle Destinie 2
G2017/08	K. MILIN Modélisation de l'inflation en France par une approche macrosectorielle	G2019/01	M. ANDRÉ - A.-L. BIOTTEAU Effets de moyen terme d'une hausse de TVA sur le niveau de vie et les inégalités : une approche par microsimulation
G2017/09	C.-M. CHEVALIER - R. LARDEUX Homeownership and labor market outcomes: disentangling externality and composition effects	G2019/02	A. BOURGEOIS - A. BRIAND Le modèle Avionic : la modélisation Input/Output des comptes nationaux
G2017/10	P. BEAUMONT Time is Money: Cash-Flow Risk and Export Market Behavior	G2019/03	A. GODZINSKI - M. SUAREZ CASTILLO Short-term health effects of public transport disruptions: air pollution and viral spread channels
G2018/01	S. ROUX - F. SAVIGNAC SMEs' financing: Divergence across Euro area countries?	G2019/04	L. AEBERHARDT - F. HATIER - M. LECLAIR - B. PENTINAT - J.-D. ZAFAR L'économie numérique fausse-t-elle le partage volume-prix du PIB ?
G2018/02	C.-M. CHEVALIER - A. LUCIANI Employment: impacts across industries vary with technological level	G2019/05	A. CAZENAVE-LACROUTZ - E. YILMAZ Dans quelle mesure les incitations tarifaires et la procédure de mise sous accord préalable ont-elles contribué au développement de la chirurgie ambulatoire ?
G2018/03	R. MONIN - M. SUAREZ CASTILLO L'effet du CICE sur les prix : une double analyse sur données sectorielles et individuelles	G2019/06	J.-P. CLING - S. EGHBAL-TEHERANI - M. ORZONI - C. PLATEAU The Differences between EU Countries for Sustainable Development Indicators: It is (mainly) the Economy!
G2018/04	R. LARDEUX Who Understands The French Income Tax? Bunching Where Tax Liabilities Start	G2019/07	P. CHONÉ - L. WILNER Competition on Unobserved Attributes: The Case of the Hospital Industry
G2018/05	C.-M. CHEVALIER Financial constraints of innovative firms and sectoral growth	G2019/08	P. PORÀ - L. WILNER Child Penalties and Financial Incentives: Exploiting Variation along the Wage Distribution
G2018/06	R. S.-H. LEE - M. PAK Pro-competitive effects of globalisation on prices, productivity and markups: Evidence in the Euro Area	G2019/09	E. GAUTIER - S. ROUX - M. SUAREZ CASTILLO Do Minimum Wages make Wages more Rigid ? Evidence from French Micro Data
G2018/07	C.-M. CHEVALIER Consumption inequality in France between 1995 and 2011	G2019/10	M. ANDRÉ - A. SIREYJOL

G2019/11 Imposition des couples et des familles : effets budgétaires et redistributifs de l'impôt sur le revenu

G2019/11 K. MOHKAM – O. SIMON
L'empreinte matière de l'économie française : une analyse par matière et catégorie de produits

G2019/12 S. BUNEL – B. HADJIBEYLI
Evaluation du crédit d'impôt innovation

G2019/13 C. BONNET – F. GODET – A. SOLAZ
Gendered economic determinants of couple formation over 50 in France

G2019/14 P. GIVORD – M. SUAREZ CASTILLO
Excellence for all? Heterogeneity in high schools' value-added

G2019/15 G. CETTE – L. KOEHL – T. PHILIPPON
Labor Share in Some Advanced Countries

G2020/01 J. SILHOL – B. VENTELOU
Les zones d'intervention prioritaire reflètent-elles des écarts de pratiques des médecins généralistes ?

G2020/02 B. BOUCHTENIK – R. LARDEUX
The Take-Up of Unemployment Benefit Extensions

G2020/03 J-M. GERMAIN
A Welfare Based Estimate of "Real Feel GDP" for Europe and the USA

G2020/04 J. BOUSSARD – R. LEE
Competition, Profit Share and Concentration

G2020/05 P. PORA
Keep Working and Spend Less? Collective Childcare and Parental Earnings in France

G2020/06 R. MONIN – M. SUAREZ CASTILLO
Product Switching, market power and distance to core competency

G2020/07 L. WILNER
How do citizens perceive centralization reforms? Evidence from the merger of French regions

G2020/08 L. WILNER
The persistence of subjective well-being: permanent happiness, transitory misery?

G2020/09 J-M. GERMAIN – T. LELLOUCH
Comptabilité économique de la soutenabilité climatique

G2020/10 A. BAUER – M. ROTEMBERG
Tax avoidance in French Firms: Evidence from the Introduction of a Tax Notch

G2020/11 P. AGHION – A. BERGEAUD
M. LEQUIEN – M. J. MELTZ

G2020/12 L. GALIANA – B. SAKAROVITCH
F. SÉMÉCURBE – Z. SMOREDA
Residential segregation, daytime segregation and spatial frictions : an analysis

G2020/13 A. BAUER – J. BOUSSARD
Market Power and Labor Share

G2020/14 A. BAUER – J. BOUSSARD – D. LASHKARI
Information Technology and Returns to Scale

G2020/15 V. LIN – O. MESLIN
Hausse des prix immobiliers et mesure du niveau de vie

G2021/01 N. BECHICHI – G. THEBAULT
Students' Preferences, Capacity Constraints and Post-Secondary Achievements in a Non-Selective System

G2021/02 B. BUREAU – A. DUQUERROY
J. GIORGI – M. LÉ – S. SCOTT – F. VINAS
Une année de crise COVID : impact sur la dynamique de l'activité des entreprises en France.

G2021/03 B. BUREAU – A. DUQUERROY
J. GIORGI – M. LÉ – S. SCOTT – F. VINAS
L'impact de la crise sanitaire sur la situation financière des entreprises en 2020 : une analyse sur données individuelles

G2021/04 A. GODZINSKI – M. SUAREZ CASTILLO
Disentangling the effects of air pollutants with many instruments

2021/01 S.QUANTIN – S.BUNEL – C.LENOIR
Évaluation du dispositif Jeune entreprise innovante (JEI) Un exemple d'application du modèle d'analyse de sensibilité de Rosenbaum

2021/02 L. GOBILLON – D. MEURS – S. ROUX
Differences in positions along a hierarchy : Counterfactuals based on an assignment model

2021/03 N. BECHICHI – J. GRENET – G. THEBAULT
Ségrégation à l'entrée des études supérieures en France et en région parisienne : quels effets du passage à Parcoursup ?

2021/04 M. ANDRÉ – O. MESLIN
Et pour quelques appartements de plus : Étude de la propriété immobilière des ménages et du profil redistributif de la taxe foncière

2022/05 S. GEORGES-KOT – D. GOUX – E. MAURIN
The value of leisure synchronization

2022/06 N. BECHICHI – M. FABRE – T. OLIVIA
Projections de la population active à l'horizon 2080

2022/11 S. QUANTIN – C. WELTER-MÉDÉE
Estimation des montants manquants de versements de TVA : exploitation des données du contrôle fiscal