HAL
open science

Commerce vertical et propagation des chocs de prix : Le cas de la zone euro

Marion Cochard, Guillaume Daudin, Sandra Fronteau, Christine Rifflart

To cite this version:

Marion Cochard, Guillaume Daudin, Sandra Fronteau, Christine Rifflart. Commerce vertical et propagation des chocs de prix : Le cas de la zone euro. Revue de l'OFCE, 2016, 149, pp.131-166. 10.3917/reof.149.0131 . hal-03459393

HAL Id: hal-03459393

https://sciencespo.hal.science/hal-03459393v1

Submitted on 1 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COMMERCE VERTICAL ET PROPAGATION DES CHOCS DE PRIX
LE CAS DE LA ZONE EURO

Marion Cochard, *Banque de France, Sciences Po, OFCE, Paris, France*[a]
Guillaume Daudin, *PSL, Université Paris-Dauphine, Sciences Po, OFCE, Paris, France*
Sandra Fronteau, *Sciences Po, OFCE, Paris, France*[b]
Christine Rifflart, *Sciences Po, OFCE, Paris, France*

La décomposition des chaînes de valeur internationales est un aspect important de la mondialisation. Partant d'une hypothèse d'inflation par les coûts, nous examinons la propagation des chocs d'offre sur les prix à partir des tableaux *Input-Output* mondiaux. Le modèle de Leontief adapté dans le cadre d'une économie monde nous permet d'analyser empiriquement l'impact de chocs de change et de productivité sur la zone euro et sur le reste du monde lorsque ces chocs émanent de la zone euro. Nous montrons que la diffusion des chocs opère principalement au premier tour et dépend de la part des inputs importés dans la production ou les exportations. En outre, les chocs de change sont en partie compensés par une modification des prix des inputs ce qui, en cas d'appréciation, limite la perte de compétitivité. L'ampleur de cette compensation n'est pas négligeable et elle est d'autant plus élevée que les pays de la zone euro sont ouverts. Elle est ainsi plus forte pour l'Allemagne (avec une élasticité des prix d'exportation à un choc de l'euro de -9 %) que pour la France (-8 %). L'impact des chocs de productivité est plus important que celui des chocs de change en raison d'un effet de résonance domestique avant leur diffusion internationale. Parmi les grands pays, l'Allemagne est celui qui bénéficie le plus des chocs positifs de productivité émanant des PECO hors zone euro : dans ce cas, l'élasticité de ses prix d'exportation est de 6 % contre 2,5 % pour la France.

Mots clés : commerce en valeur ajoutée, zone euro, modèle de Leontief, inflation par les coûts.

a. Cet article reflète les idées personnelles de leurs auteurs et n'exprime pas nécessairement la position de la Banque de France.
b. Stagiaire à l'OFCE au moment de la réalisation de cet article.

La décomposition des chaînes de valeur internationales est un aspect important de la mondialisation. Les importations de biens intermédiaires pour la production de biens exportés ont beaucoup augmenté avec la formation de réseaux internationaux de production centrés par exemple sur l'Allemagne et la Chine (Milberg et Winkler, 2013). Les économistes et les statisticiens ont mis en place de nouveaux outils pour mesurer ce phénomène et en analyser les conséquences. Les statistiques commerciales en valeur ajoutée permettent de réallouer les flux commerciaux aux secteurs et aux pays producteurs de biens intermédiaires. Elles sont construites grâce à la réconciliation des statistiques du commerce international et des tableaux Entrées-Sorties nationaux. En les utilisant, il est facile de suivre la propagation d'un choc de demande au niveau mondial jusqu'aux pays d'origine des biens incorporés dans le produit qui fait l'objet de ce choc de demande. On peut ainsi mesurer les effets induits par un choc de demande sur la structure d'offre. À ce jour, il n'existe pas de travaux utilisant ces mêmes outils pour analyser l'effet des chocs d'offre sur les prix, en partant d'une hypothèse d'inflation par les coûts (*cost-push inflation*). C'est la contribution de cet article.

Les enjeux sont importants : compétitivité, politiques industrielles, analyse des déséquilibres internationaux, … Dans le cas de la zone euro, on peut se demander quels pays de la zone euro ont le plus bénéficié de la baisse du prix des biens intermédiaires produits dans les pays de l'Est au cours de leur processus de convergence avec le reste de l'Europe ou, encore, quels sont les effets différenciés des variations de l'euro sur la compétitivité-prix des pays de la zone. Par exemple, l'appréciation de l'euro va diminuer le prix des consommations intermédiaires importées dans la zone euro et augmenter le prix des consommations intermédiaires exportées. Au final, quel sera l'effet total sur les prix d'exportation, sachant que l'effet varie selon la structure des échanges intersectoriels et internationaux de chaque pays ?

Pour répondre à ces questions, nous étudions ici la transmission des chocs d'offre sur les prix à partir des tableaux *Input-Output* (I-O ou Entrées-Sorties) mondiaux fournis par l'OCDE.

La première partie présente la méthode utilisée et notamment comment adapter le modèle de Leontief dans le cadre d'une économie monde pour analyser les chocs de change et de productivité. La deuxième partie analyse empiriquement l'impact de ces chocs sur la zone euro et sur le reste du monde lorsque le choc émane de la zone euro. La troisième partie discute les modalités de diffusion des chocs et montre qu'elles sont dominées par les effets de premier tour, et donc la part des *inputs* importés dans la production ou les exportations.

1. Le modèle *Input-Output* appliqué à un choc sur les coûts de production

1.1. Une approche comptable

Le modèle de production de Leontief (ou modèle I-O) permet de décomposer l'impact d'un choc de demande (Leontief, 1951). La contribution fondamentale des nouveaux outils d'analyse du commerce en valeur ajoutée est la réconciliation des statistiques du commerce international et des tableaux I-O nationaux qui permet d'étendre l'analyse de Leontief à un contexte international. De nombreux travaux (Hummels, Ishii, et Yi, 2001 ; Daudin *et al.*, 2006 ; Daudin, Rifflart, et Schweisguth, 2011 ; De Backer et Yamano, 2012 ; Johnson et Noguera, 2012 ; Koopman, Wang, et Wei, 2014 ; Amador, Cappariello, et Stehrer, 2015 ; Los *et al.*, 2016) ont abordé la question du contenu en valeur ajoutée du commerce mondial et de l'origine géographique ou sectorielle de cette valeur ajoutée. Certains auteurs ont appliqué ce modèle avec des matrices internationales à l'Asie (Sato et Shrestha, 2014) ou aux pays de la zone euro (Cappariello et Felettigh, 2015). Pour l'étude de la compétitivité, (Bems et Johnson, 2015) ont calculé un taux de change effectif réel pondéré par la structure du commerce en valeur ajoutée afin de mesurer l'influence d'un changement des prix relatifs de la valeur ajoutée sur la demande pour la valeur ajoutée de chaque pays[1].

1. L'influence sur leurs résultats du passage d'une pondération par le commerce observé au commerce en valeur ajoutée est cependant beaucoup moins forte que celle de l'utilisation des prix de valeur ajoutée plutôt que des prix de consommation.

Le modèle de production de Leontief a un dual : le modèle des prix. Celui-ci est bien connu dans le cadre de l'étude d'une économie unique. Quelques études empiriques ont été réalisées sur les conséquences d'un changement de prix de production à partir d'un modèle I-O ou d'un modèle MCS (Matrice de Comptabilité Sociale) dans le cadre de pays en développement. Les modèles MCS ont été utilisés dans l'évaluation de politiques énergétiques (Valadkhani et Mitchell, 2002 ; Han, Yoo, et Kwak, 2004 ; Wodon et Parra, 2008 ; Akkemik, 2011). À notre connaissance, aucun travail n'a appliqué le dual du modèle de production de Leontief dans un contexte international. Il est pourtant possible d'utiliser le modèle de prix de Leontief pour examiner les effets des chocs d'offre.

Le modèle des prix de Leontief est utilisé à peu près systématiquement dans les modèles macroéconomiques multi-sectoriels centrés sur un pays unique, par exemple, pour mesurer l'effet d'une variation des prix de l'énergie (Bournay et Piriou, 2015 ; Sharify, 2013). Il s'agit d'une approche purement comptable de l'effet des coûts sur les prix (*cost-push inflation*). Elle suppose notamment que les acteurs n'ont aucun comportement de marge, que les prix ne s'ajustent que pour absorber les variations de coût, que les techniques de production sont fixes au cours des cycles de production successifs et qu'il n'y a pas de substitution possible entre *inputs*, notamment entre pays produisant les mêmes biens et ce, malgré des variations de prix relatifs, etc. Les limites de cette approche sont bien connues (Folloni et Miglierina, 1994). Notamment, et bien que le découpage des chaînes de valeur à l'échelle mondiale se fasse en grande partie au sein de firmes multinationales, nous considérons ici un système de prix uniques basé sur les prix de marché et indépendant des stratégies de firmes. Cette méthode n'est pas sans avantage par rapport à d'autres similaires (Oosterhaven, 1996). Elle permet dans tous les cas d'avoir une mesure de la vulnérabilité de chaque secteur à des chocs de prix ou de productivité (Acemoglu *et al.*, 2012 ; Carvalho, 2014).

Bien sûr, la production ne suit pas vraiment une fonction type Leontief et il est bien connu que les firmes répondent aux chocs d'offre en ajustant partiellement leurs marges. Cela aura un effet sur la propagation effective des chocs de prix. Cependant, notre approche est utile pour identifier les pays et les secteurs qui subissent le plus de pression pour ajuster leurs prix quand ils sont

victimes de chocs exogènes sur les coûts. Cela nous permet de définir, par exemple, les pays de la zone euro qui bénéficient le plus d'un euro fort ou de savoir si l'instauration de l'euro a augmenté l'interdépendance entre les pays de la zone euro.

1.2. Application du modèle standard I-O à un modèle de prix

Le modèle I-O standard s'appuie sur un cadre analytique issu des tableaux d'*input-output* représentant les transactions de biens et services (domestiques ou importés) en prix courants. Les tableaux sont présentés comme suit (en économie fermée). En ligne, se trouve pour chaque produit *i*, le montant de la production brute y_i utilisée comme consommation intermédiaire par les différentes branches au cours de leur cycle de production, ou utilisée à satisfaire la demande finale domestique ou à être exportée. Les colonnes décrivent, pour chaque branche *j*, les consommations intermédiaires de biens et services provenant des différents secteurs ainsi que la consommation de facteurs primaires (capital et travail)[2] nécessaires à la production y_j, Chaque colonne indique les dépenses totales engagées par chaque branche au cours de son processus de production, c'est-à-dire le paiement des consommations intermédiaires et la rémunération des facteurs de production (cette rémunération étant égale à la valeur ajoutée). Par construction, les tableaux I-O sont équilibrés : la somme des ressources est égale à la somme des dépenses engagées au niveau de l'ensemble de l'économie.

Dans ce cadre, on peut montrer que si A est la matrice structurelle des coefficients techniques de dimension (n,n) et *P* le vecteur de prix de production de dimension (1,n) ; *V* le vecteur de revenus de facteurs contenus dans une unité de production de dimension (1,n), alors (voir Annexe A1) : $P = PA + V$.

De même, si *c* est le vecteur d'un choc exogène de prix d'*input*, l'effet de ce choc sur les prix est le vecteur S défini comme :

$$S = c\,(I - A)^{-1} \tag{1.3}$$

2. Nous faisons ici deux hypothèses simplificatrices : nous supposons que branches, produits et secteurs se correspondent parfaitement et nous négligeons la différence entre les prix de base et les prix d'acquisition.

$(I - A)^{-1}$ est appelé « l'inverse de la matrice de Leontief ». S est un vecteur de dimension (1,n) composé des éléments s_{ij} mesurant l'effet total du choc sur le prix de production du secteur j du pays i.

1.3. Définition de l'économie Monde

Dans la mesure où nous cherchons à connaître les pays les plus affectés par un choc de coûts de production à travers les flux de valeur ajoutée et de commerce vertical dans les échanges internationaux, il nous faut construire une grande matrice structurelle qui intègre les flux d'*inputs* entre secteurs à l'intérieur de chaque pays mais aussi entre les pays eux-mêmes. Cette « grande » matrice retrace l'origine sectorielle et géographique des *inputs* produits au niveau mondial. Sur la diagonale, se situent les blocs-pays avec les flux de transactions domestiques de biens et services intermédiaires entre branches. Les blocs-pays situés en dehors de la diagonale représentent les flux internationaux de biens et services intermédiaires *via* les exportations et les importations sectorielles bilatérales. Cette grande matrice devient la matrice d'*Input-output* de l'économie Monde capable de produire pour satisfaire sa propre demande finale (consommation et investissement). Les exportations et les importations sont traitées comme des échanges internes. Chaque branche de chaque pays est ainsi considérée comme unique, et produisant des biens spécifiques et non substituables avec ceux produits par la même branche d'un autre pays.

Trois bases de données existent pour conduire notre recherche : celle de GTAP à l'Université de Purdue[3], TiVA à l'OCDE[4] et WIOD à l'Université de Groningen (Timmer *et al.*, 2015). Nous avons décidé de travailler avec les données de l'OCDE en raison du plus grand nombre de pays et d'un traitement sectoriel différencié pour la Chine et le Mexique. La méthode utilisée pour WIOD est cependant plus explicite : nous envisageons d'utiliser notre méthode dans ce cadre. Pour construire notre « grande matrice », nous utilisons la base de données *Inter-Country Input-Output* (*ICIO*) de l'OCDE. La dernière version, publiée en juin 2015 pour l'année 2011, nous fournit des données pour 34 pays de l'OCDE et 28 pays non membres (dont une zone Reste du monde). Le Mexique et la

3. https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/
4. http://www.oecd.org/sti/ind/measuringtradeinvalue-addedanoecd-wtojointinitiative.htm

Chine bénéficient d'une décomposition spécifique du fait de certains pans d'activité très intégrées à l'économie mondiale[5]. Au total, les données couvrent 67 pays / régions et 34 industries (incluant les services)[6]. Les données sont en dollars courants et portent sur 1995, 2000, 2005 et toutes les années de 2008 à 2011.

Au final, nous avons à notre disposition :

— la production brute, par secteur et par pays ;

— les flux interindustriels par secteur et par pays avec l'origine sectorielle et géographique des *inputs* ;

— la demande finale par secteur et par pays ;

— la valeur ajoutée, avec la décomposition salaires/excédent brut d'exploitation par secteur et par pays. Ces dernières données sont issues de la base STAN de l'OCDE : *OECD Structural Analysis Statistics*.

Nous pouvons donc construire un vecteur de production de dimension (1, 2159), une matrice structurelle A de dimension (2159, 2159) composée des coefficients techniques a_{ij} a_{kl} représentant la quantité d'*inputs* absorbés par le secteur j du pays i pour produire une unité de y_j et venant du secteur l du pays k, un vecteur de demande finale et un vecteur de valeur ajoutée.

1.4. Chocs sur l'économie mondiale : choc de change nominal et choc de productivité

Nous pouvons appliquer les équations présentées précédemment à cette base de données. Deux types de chocs sont réalisés : un choc de taux de change nominal et un choc de prix d'*inputs* que nous assimilons ici à un choc de productivité. Le choc de prix d'*inputs* ramène directement à l'équation (1.3). En effet, une baisse de la productivité se traduit par une hausse de la rémunération des facteurs primaires de production, les coefficients techniques restant constants par hypothèse. Dans notre scénario, on suppose

5. Le Mexique est divisé en 3 types d'activité : *Global manufacturing*, *Non global manufacturing* et Autres. La Chine est divisée en 4 types : *Processing*, *Non processing goods exporters*, *Domestic sales only* et Autres.

6. Du fait de la décomposition spécifique du Mexique et de la Chine, la production des secteurs des services apparaît dans la partie « autres », tandis que les parties « *processing* » et « *manufacturing* » ne comportent que les secteurs industriels. Par conséquent, les données ne couvrent pas les 34 secteurs pour chaque pays, et la matrice a au final, une dimension de 2159*2159.

qu'une baisse de 50 % de la productivité répartie sur tous les secteurs est assimilable à une hausse homogène de 100 % des prix de production dans tous les secteurs. En niveau, les chocs de productivité sont différents selon les secteurs et l'augmentation de la rémunération des facteurs primaires n'est pas la même selon les secteurs mais l'impact sur les prix des *inputs* sectoriels est uniforme. Une façon plus naturelle de modéliser ce choc serait d'augmenter de façon proportionnelle les rémunérations de facteurs primaires et les coefficients techniques. Cela nécessiterait d'étudier les effets de demande sur les *inputs* et nous éloignerait des chocs de prix que nous souhaitons étudier.

Le choc de taux de change nécessite des ajustements importants que nous présentons maintenant.

Toutes choses égales par ailleurs, l'appréciation d'une monnaie face aux autres monnaies conduit mécaniquement, pour le pays qui subit le choc, à une baisse du prix de ses importations en monnaie domestique et à une hausse du prix de ses exportations en monnaie étrangère. Or, dans notre scénario, les effets de *pass through* sont complets par hypothèse. Aussi, il est intéressant de mesurer l'impact désinflationniste de ce choc sur le pays qui subit le choc et, à l'inverse, son impact inflationniste sur les pays qui consomment directement et indirectement, par le biais de pays tiers, les *inputs* du pays à l'origine du choc. En outre, dans quelle mesure le choc de compétitivité lié au choc de change est-il atténué par cet impact désinflationniste/inflationniste ?

Supposons un monde à deux pays A et B ayant chacun leur monnaie nationale, et une monnaie pour les transactions internationales, le dollar. Dans l'hypothèse d'une appréciation de 100 % de la monnaie du pays A face aux deux autres monnaies, les prix de production du pays A exprimés en dollars doublent par rapport à ceux du pays B exprimés eux aussi en dollars. Le pays B paye plus cher ses importations d'*inputs*, en dollars et aussi, en monnaie nationale (la parité de sa monnaie face au dollar n'ayant pas varié). À l'inverse, les prix d'*inputs* importés par le pays A restent constants en dollars (les prix de production du pays B n'ont pas changé) et baissent de moitié une fois exprimés en monnaie nationale.

Comme nous l'avons dit, nous posons comme hypothèse que les producteurs n'ont pas de comportement de marge et réper-

cutent intégralement le choc de change sur leurs prix de production. Le changement des prix des biens importés se transmet donc à l'ensemble des prix domestiques lors du processus de production par le biais des échanges interindustriels. Ces mouvements à la hausse dans le cas du pays B et à la baisse dans celui du pays A, affectent donc tous les prix d'*inputs* dans chacun des pays.

Les effets du choc se diffusent au cours des multiples cycles de production jusqu'à épuisement. Au terme de ce processus, l'impact global du choc est égal *en dollar*, pour le pays choqué A, à la hausse du prix de production due au choc de change, diminuée des gains directs et indirects (*via* les échanges interindustriels dans le pays) tirés des baisses, en monnaie nationale puis reconverties en dollars, des prix des *inputs* importés de B et diffusées à l'ensemble des branches. L'impact global sur les prix de production en dollars du pays A est donc inférieur au choc initial de change. Pour le pays B, l'impact final correspond au cumul des effets directs et indirects induits par le renchérissement des prix des *inputs* importés en provenance du pays A et diffusés à l'ensemble des industries.

Formalisons le choc dans un cadre plus général en revenant à notre économie Monde composée de P pays, chacun ayant n secteurs. L'appréciation de la monnaie d'un pays i face à toutes les autres monnaies se traduit par une hausse en monnaie commune, le dollar par exemple, de ses prix relatifs face au reste du monde. Les prix de production de chacun des secteurs vont varier en dollars de $c_{\$i1} = c_{\$i2} = \ldots = c_{\$in} = c_{\$i}$ dans le pays i qui subit le choc et de 0 dans les autres pays. Nous avons, pour chaque secteur j du pays i :

$$\Delta^0 p_{\$ij} = p^1_{\$ij} - p^0_{\$ij} = c_{\$ij} = c_{\$i}$$

Et pour tout pays k différent de i,

$$\Delta^0 p_{\$kj} = p^1_{\$kj} - p^0_{\$kj} = c_{\$kj} = 0$$

Pour simplifier, nous supposons que les prix de production de chaque secteur sont normalisés à 1 ($p^0_{\$1i} = p^0_{\$2i} = p^0_{\$ni} = 1$) et les taux de change à 1 pour 1 dollar. Une appréciation de 100 % du taux de change d'une monnaie face aux autres monnaies correspond donc à un choc absolu de +1, les prix de production du pays « choqué » passant de 1 à 2 dollars.

Comme expliqué précédemment, l'appréciation affecte les producteurs par les changements des prix relatifs entre pays et donc des prix d'*inputs* échangés entre le pays « choqué » *i* et les autres pays.

Considérons d'abord l'incidence directe (en valeur absolue) sur les autres pays, de la hausse des prix d'*inputs* importés du pays choqué *i*. Pour tout secteur *l* d'un pays *k* ($k \neq i$), la hausse du prix de production dépend directement de la quantité d'*inputs* importés du pays *i* où se situe le choc, pondérée par la variation en niveau, de leurs prix en dollars (c'est-à-dire le choc de change) :

$$\begin{aligned}\Delta^1 p_{\$kl} &= c_{\$i} * a_{kl}a_{i1} + \cdots + c_{\$i} * a_{kl}a_{ij} + \cdots + c_{\$i} * a_{kl}a_{in} \\ &= \sum_{j=1}^{n} c_{\$i} * a_{kl}a_{ij} = c_{\$i} * \sum_{j=1}^{n} a_{kl}a_{ij}\end{aligned} \tag{2.1}$$

avec a_{kl} a_{ij} la quantité d'*inputs* provenant du secteur *j* du pays *i* nécessaire à l'élaboration d'une unité de production du secteur *l* du pays *k*.

Pour le pays choqué *i*, le choc a un effet désinflationniste sur les prix de production en monnaie domestique qui doit être pris en compte dans l'impact global du choc en dollar. En monnaie nationale, les prix de production des *inputs* importés baissent de

$$\tilde{c}_1 = -\frac{c_{\$i}}{1 + c_{\$i}},$$

c'est-à-dire de 0,5 dès lors que $c_{\$i}$ est égal à 1. Cette baisse se diffuse à l'ensemble des secteurs au cours du cycle de production. Dans le secteur *j* du pays choqué *i*, cette baisse sera égale en monnaie nationale à :

$$\begin{aligned}\Delta^1 p_{\$kl} &= c_{\$i} * a_{kl}a_{i1} + \cdots + c_{\$i} * a_{kl}a_{ij} + \cdots + c_{\$i} * a_{kl}a_{in} \\ &= \sum_{j=1}^{n} c_{\$i} * a_{kl}a_{ij} = c_{\$i} * \sum_{j=1}^{n} a_{kl}a_{ij}\end{aligned}$$

C'est-à-dire

$$\Delta^1 p_{ij} = \left(-\frac{c_{\$i}}{1 + c_{\$i}}\right) * \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{k=p} \left[\sum_{l=1}^{l=n} a_{ij}a_{kl}\right]$$

Ce choc, en niveau, peut être converti en dollars :

$$\Delta^1 p_{\$ij} = (1 + c_{\$i}) * (-\frac{c_{\$i}}{1 + c_{\$i}}) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{k=p} \left[\sum_{l=1}^{l=n} a_{ij} a_{kl} \right]$$

$$\Leftrightarrow \Delta^1 p_{\$ij} = -c_{\$i} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{k=p} \left[\sum_{l=1}^{l=n} a_{ij} a_{kl} \right] \qquad (2.2)$$

Nous connaissons donc l'impact direct du choc en dollars sur tous les prix d'*inputs* de tous les pays de notre économie monde et retrouvons dès lors le point de départ de la partie 1.3. Ces résultats peuvent facilement être interprétés en termes d'élasticité.

Pour passer cependant d'un raisonnement algébrique à un raisonnement matriciel, nous devons adapter le modèle décrit dans la partie précédente à notre choc de change nominal. Nous devons en effet créer deux matrices qui « filtrent » la grande matrice A pour ne retenir que les effets directs du choc de change sur le prix des biens importés par le pays choqué en provenance du reste du monde et les effets directs du choc de change sur le prix des biens importés par le reste du monde en provenance du pays choqué. Pour formaliser l'impact initial du choc sur le prix des biens échangés, nous devons neutraliser l'impact d'un choc de prix d'*inputs* sur le prix des *inputs* domestiques ainsi que sur le prix des *inputs* échangés entre pays non choqués.

Considérons d'abord le choc du point de vue des pays importateurs d'*inputs* en provenance du pays choqué *i*.

Soit $c_{\$}$ le vecteur de changement des prix de production en dollars à la suite de l'appréciation de 100 % de la monnaie du pays *i* face à toutes les autres monnaies, correspondant dans notre modèle à un choc en absolu de +1 dollar pour tous les secteurs du pays *i*. Nous avons donc (0 ... 0 ... $c_{\$ij}$ ... $c_{\$ik}$ 0 ... 0), avec $c_{\$ij} = c_{\$ik} = c_{\$i} = 1$ pour tous secteurs *j* et *k* du pays choqué *i*.

À partir de l'équation (2.1), on peut écrire l'impact direct du choc de change sur les autres pays comme le produit du vecteur de choc $c_{\$}$ et d'une matrice B, B reprenant la grande matrice A dont on n'a conservé que les blocs-pays situés sur la ligne des coefficients techniques des importations d'*inputs* de chaque secteur de chaque pays, en provenance du pays choqué. Les autres coefficients sont

remplacés par des 0, y compris ceux du bloc du pays *i* situés sur la diagonale des coefficients techniques et qui concernent les achats d'*inputs* du pays choqué à lui-même. L'impact direct de l'appréciation du taux de change d'une monnaie face au dollar sur le prix des *inputs* est égal à $c_{\$}$B, avec

$$c_{\$}\mathrm{B} = (0 \dots c_{\$i} \dots 0)\begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 \\ a_{1l}a_{ij} & 0 & a_{nl}a_{ij} \\ 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix} \tag{2.3}$$

où chaque élément $a_{kl}\ a_{ij}$ du bloc ligne représente le coefficient technique lié aux importations d'*inputs* du secteur *l* du pays *k* (avec $k \neq i$) en provenance du secteur *j* du pays *i*.

Considérons maintenant le choc du point de vue du pays choqué *i*.

Soit $\widetilde{c_{\$}}$ le vecteur de changement des prix d'*inputs* importés par le pays *i*, en dollars, $(-\ c_{\$i} \dots 0 \dots 0 \dots -\ c_{\$i})$. À partir de l'équation (2.2), on peut écrire l'impact direct du choc sur le pays *i* de la baisse des prix d'*inputs* en provenance du reste du monde comme le produit du vecteur de choc $\widetilde{c_{\$}}$ et d'une matrice $\widetilde{\mathrm{B}}$, $\widetilde{\mathrm{B}}$ reprenant la grande matrice A dont on n'a conservé que les bloc-pays positionnés en colonne des coefficients techniques des importations d'*inputs* du pays *i* en provenance des autres pays. Les autres coefficients sont remplacés par des 0, y compris ceux du bloc du pays *i* situés sur la diagonale des coefficients techniques du pays choqué et qui concernent les achats d'*inputs* du pays choqué à lui-même. L'impact direct de l'appréciation du taux de change du pays choqué sur le prix de ses *inputs* est égal, en dollars à $\widetilde{c_{\$}}\ \widetilde{\mathrm{B}}$, avec :

$$\tilde{c}_{\$}\widetilde{\mathrm{B}} = (-c_{\$i} \dots 0 \dots -\ c_{\$i})\begin{pmatrix} 0 & \dots a_{i1}a_{11} \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \dots a_{il}a_{pn} \dots & 0 \end{pmatrix} \tag{2.4}$$

où chaque élément $a_{ij}\ a_{kl}$ du bloc colonne représente les importations d'*inputs* du secteur *j* du pays *i* en provenance du secteur *l* du pays *k*.

Nous avons maintenant explicité l'impact direct du choc de change sur les prix d'*inputs* du pays choqué et des autres pays en dollars. L'effet direct sur le monde est donc la somme de ces vecteurs tirés des équations (2.3) et (2.4), soit $c_{\$}$ B + $\widetilde{c_{\$}}\ \widetilde{\mathrm{B}}$. On revient à la situation décrite dans la partie 1.2 dans le cas d'un choc

de prix d'*inputs*. Ce choc se diffuse alors à l'ensemble des secteurs de tous les pays *via* les échanges intersectoriels mondiaux retranscrits par la matrice des coefficients techniques de la grande matrice A. Ce processus se répètera plusieurs fois, jusqu'à épuisement total des effets.

Au final, l'effet total du choc en dollars est égal au choc lui-même, incrémenté des changements de prix d'*inputs* dus aux changements de prix *inputs* importés, et de toutes les variations marginales des prix de production au cours des différents processus de production jusqu'à épuisement, soit

$$S_{\$} = \Delta P_{\$} = c_{\$} + (c_{\$}\mathrm{B} + \tilde{c}_{\$}\widetilde{\mathrm{B}}) + \left(c_{\$}\mathrm{B} + \tilde{c}_{\$}\widetilde{\mathrm{B}}\right)\mathrm{A} + \left(c_{\$}\mathrm{B} + \tilde{c}_{\$}\widetilde{\mathrm{B}}\right)\mathrm{A}^2 + \cdots + \left(c_{\$}\mathrm{B} + \tilde{c}_{\$}\widetilde{\mathrm{B}}\right)\mathrm{A}^n$$

C'est-à-dire

$$S_s = c_{\$} + (c_{\$}\,\mathrm{B} + \widetilde{c}_{\$}\,\widetilde{\mathrm{B}}) * (\mathrm{I} - \mathrm{A})^{-1} \qquad (2.5)$$

avec S_s le vecteur d'impact total de dimension (1,2159), composé des éléments $s_{\$ij}$ retraçant l'effet total du choc sur le secteur *j* du pays *i*.

L'équation (2.5) donne l'évolution absolue des prix d'*inputs* en monnaie internationale. Pour obtenir l'évolution absolue des prix d'*inputs* du pays choqué en monnaie nationale, il suffit de retirer le choc de change et de multiplier ce solde par le scalaire de conversion égal à 1 / 1 + $c_{\$i}$ (0,5 puisque selon nos hypothèses $c_{\$i}$ est égal à 1) :

$$S = \left(\frac{1}{1 + c_{\$i}}\right) * (S_{\$} - c_{\$})$$

S est un vecteur du choc en monnaie choquée pour tous les pays du monde. Il n'est en fait intéressant que sur sa section portant sur le pays choqué. Dans le cas des pays non choqués, l'évolution des prix d'*inputs* est la même en monnaie nationale et en dollars.

1.5. L'effet moyen des chocs selon la méthode d'agrégation

Après avoir mesuré l'impact global d'un choc sur les prix de chaque branche de chaque pays, il nous faut calculer l'effet moyen du choc sur les prix de production de chaque pays, c'est-à-dire ramener le vecteur *S* de dimension (1,2159) à un vecteur $\overline{S}$ de dimension (1,67) où chaque élément $\overline{S}_j$ représente l'effet moyen du choc sur un indice agrégé de prix de production du pays *j*. Pour cela nous calculons pour chaque pays une moyenne pondérée des effets

du choc à partir de deux types d'agrégation : la structure sectorielle de la production et la structure sectorielle des exportations.

Le premier type d'agrégation est de la forme suivante :

$$\overline{S_i} = \sum_{j=1}^{n} \frac{S_{ij} * y_{ij}}{y_i}$$

avec $\overline{S_i}$, l'effet moyen du choc sur les prix de production du pays *i*, s_{ij} l'effet du choc sur les prix de production de la branche *j* du pays *i*, y_{ij} la production de la branche *j* dans le pays *i*, y_i la production totale du pays *i*. Cette pondération nous donne l'impact du choc sur les coûts de production de chaque pays. On parlera de « prix de production » dans la suite.

Le second type d'agrégation reprend la structure sectorielle des exportations :

$$\overline{S'_i} = \sum_{j=1}^{n} \frac{S_{ij} * x_{ij}}{x_i}$$

x_{ij} étant les exportations du secteur *j* du pays *i* et x_i les exportations totales du pays *j*.

$\overline{S'}_i$ nous donne l'impact moyen du choc sur la compétitivité-prix à l'exportation du pays *i*. Dans la suite, cet indicateur de prix de production à l'exportation sera qualifié plus simplement de « prix d'exportation ».

Nous utilisons les deux mêmes pondérations à partir de $S_\$$ pour calculer l'effet moyen du choc sur les prix de production de chaque pays en dollars $\overline{S}_\$$.

2. Zone euro et chocs de prix : quels impacts ?

Comme nous l'avons vu, l'appréciation de la monnaie d'un pays réduit le coût de ses *inputs* importés en monnaie nationale et renchérit le prix de ses *inputs* exportés en dollars. Le choc direct de change a un effet désinflationniste sur les prix de production domestique. Mais cet effet va s'atténuer au fur et à mesure que l'on prend en compte les cycles de production successifs du fait de l'utilisation d'*inputs* importés en provenance de pays qui auront subi l'impact inflationniste du choc. L'impact final reste néanmoins désinflationniste sur les prix de production en monnaie locale pour le pays qui subit le choc d'appréciation de sa monnaie.

Au niveau des prix à l'exportation, la dégradation de la compétitivité-prix en dollars engendrée par le choc de change sera partiellement compensée par la baisse du prix des *inputs* importés et son effet sur les prix de production domestique. Cet effet sera d'autant plus important que le pays importe beaucoup d'*inputs* en provenance de pays qui eux-mêmes consomment peu d'*inputs* issus directement ou indirectement du pays choqué. Selon la pondération utilisée, l'impact sur les prix de production domestique sera différent. La part des *inputs* importés dans la production est généralement plus faible que dans les exportations. Les secteurs des services, par exemple, exportent peu et utilisent peu d'*inputs* importés. Généralement, l'effet désinflationniste sera donc plus fort pour les prix d'exportation que pour les prix de production. Bien sûr, cet effet désinflationniste ne pourra pas compenser l'effet inflationniste du choc exprimé en dollars ou dans une autre devise. Nous présentons ici les résultats en monnaie nationale mais l'expression en dollars, plus logique pour mesurer l'impact sur la compétitivité prix des exportations, se fait à partir de l'équation 2.6. En effet, il faut garder à l'esprit que si les prix à l'exportation baissent en monnaie nationale, le choc direct de change sur les prix en dollars s'impose. La perte de compétitivité demeure, bien qu'atténuée par la désinflation importée.

2.1. Un choc de change sur la monnaie nationale fictive de chacun des pays de la zone euro

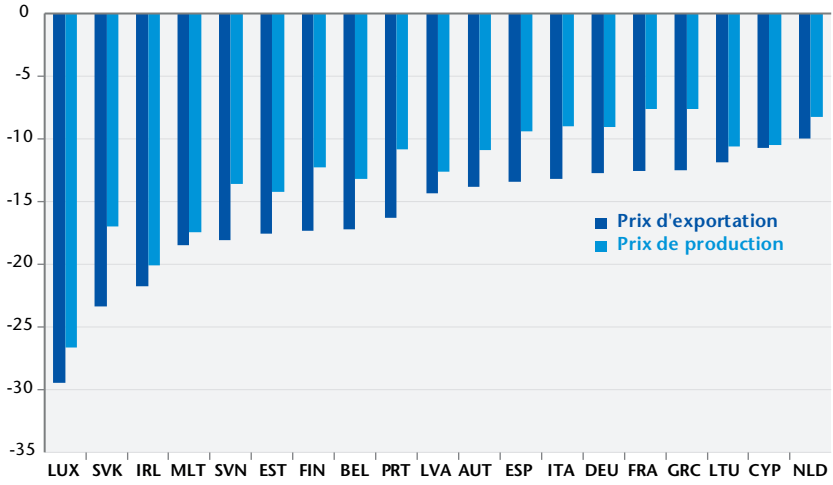
Dans un premier temps, nous calculons l'impact d'une appréciation de la monnaie d'un pays de la zone euro, face à toutes les autres monnaies, sous l'hypothèse que la zone euro n'existe pas[7]. Nous faisons donc un choc de change sur des monnaies nationales fictives. Autrement dit, nous étudions les effets de chocs de change particuliers à la France, l'Allemagne et aux autres pays de la zone euro, si chacun avait encore sa propre monnaie. Nous avons calculé l'élasticité des prix de production et des prix d'exportation, exprimés en monnaie locale (graphique 1).

Pondérés par la structure productive des pays, les prix de production en monnaie locale baissent nettement dans certains

7. Dans cette partie et dans les suivantes, nous reconstituons une zone euro pour les années passées sur la base des pays présents dans la zone euro en 2015. Les résultats sont indépendants des monnaies en vigueur.

petits pays de la zone euro, avec un effet particulièrement marqué au Luxembourg, Irlande, Slovaquie et Malte (effet supérieur à 15 %). À l'inverse, les pays plus fermés ont un impact très faible, notamment en Grèce et en France. L'Allemagne, l'Espagne et l'Italie par contre bénéficient d'une élasticité un peu plus élevée. La pondération par les exportations (« prix d'exportation ») ne modifie pas le classement, sauf pour la Slovaquie : les impacts sont alors plus marqués. Notamment, la France et la Grèce deviennent aussi sensibles que leurs principaux partenaires commerciaux à une appréciation de leur monnaie nationale. Au final, l'impact désinflationniste de l'appréciation des monnaies nationales sur les prix d'exportation exprimés en monnaie nationale atténue de la même manière la compétitivité-prix à l'exportation de la France, l'Allemagne, l'Espagne ou l'Italie. Les Pays-Bas seront les plus pénalisés, à l'opposé de la Slovaquie et de l'Irlande.

Graphique 1. Élasticité (x 100) des prix de production et d'exportation en monnaie locale à une appréciation de la monnaie locale – 2011

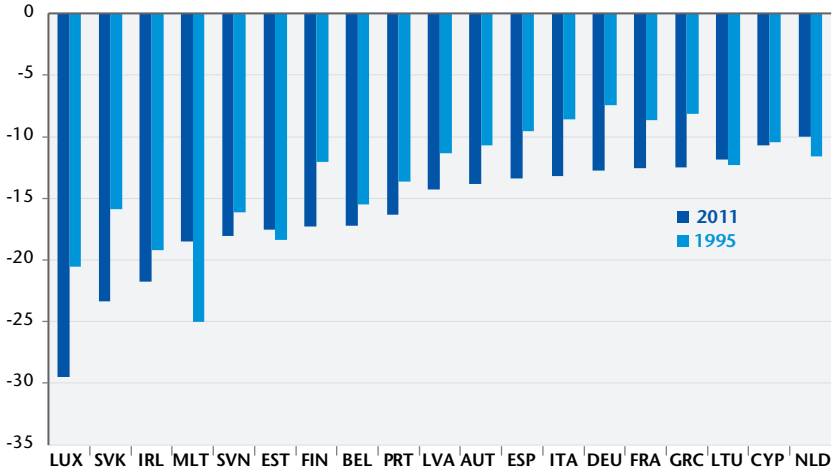


Note de lecture : si la monnaie du Luxembourg s'apprécie de 100 %, les prix des exportations luxembourgeoises dans cette monnaie vont se réduire de 29 %.
Sources : OCDE, calcul des auteurs.

Cette exposition à un choc de change s'est accrue au fil du temps (graphique 2). Avec l'ouverture des économies, dans un contexte d'intégration régionale accrue, chacun des pays de la zone euro, à l'exception de Malte, des Pays-Bas, de l'Estonie et de la

Lituanie, bénéficie d'un effet déflationniste plus élevé en 2011 qu'en 1995. L'élasticité des prix à l'exportation est désormais relativement élevée. On peut noter qu'en l'Allemagne, cette élasticité était très faible en 1995 et inférieure à celle observée pour la France. Ceci n'est plus le cas en 2011. C'est d'ailleurs en Allemagne, en Finlande et en Slovaquie que cette élasticité s'est le plus accrue entre les deux dates.

Graphique 2. Élasticité (x 100) des prix d'exportation en monnaie locale à une appréciation de la monnaie locale – 1995 et 2011



Note de lecture : si la monnaie du Luxembourg s'apprécie de 100 % en 2011, les prix des exportations luxembourgeoises dans cette monnaie vont se réduire de 29 %.
Sources : OCDE, calcul des auteurs.

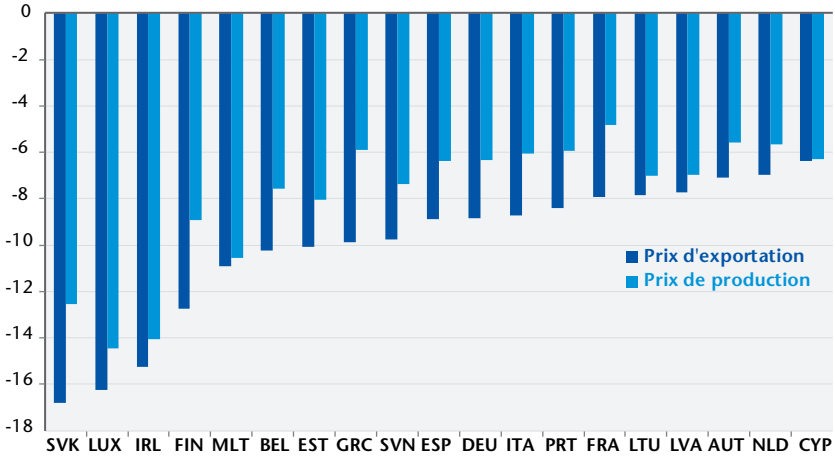
Comme nous le verrons dans la dernière section, les différences temporelles et entre pays s'expliquent essentiellement par des différences dans la part des *inputs* importés dans la production ou l'exportation. L'effet de premier tour domine.

2.2. Qui est le plus sensible à un choc sur la valeur de l'euro ?

Revenons maintenant à une zone euro telle qu'elle existe actuellement, avec sa monnaie commune. Il est clair que l'utilisation de l'euro protège les pays de la zone euro du risque inflationniste induit par l'appréciation de la monnaie d'un pays-partenaire mais limite aussi les effets désinflationnistes sur les prix domestiques de l'appréciation d'une monnaie nationale. On voit notamment dans

le graphique 3 et le tableau 1 que les effets sur les prix domestiques sont plus faibles que dans la simulation précédente (les élasticités sont globalement moins négatives). On retrouve néanmoins les mêmes hiérarchies : les pays vont être plus ou moins sensibles aux effets négatifs d'une appréciation de l'euro selon le degré d'utilisation d'*inputs* produits hors de la zone euro. On remarque tout d'abord que pour les petits pays et les pays les plus ouverts, l'impact peut être important. Par exemple, pour la Slovaquie, la perte de compétitivité-prix des exportations est partiellement compensée par la baisse du prix des *inputs* importés puisque 16,8 % du prix des exportations en euros est compensée par la désinflation importée. Les effets sont plus faibles pour les grands pays. Les différences entre les grands pays ne sont pas très fortes : l'Allemagne, l'Italie et surtout la France ne voient leur prix d'exportation baisser qu'entre 8 et 9 %. C'est la France qui bénéficie de la plus faible compensation. Cela signifie qu'en dollars, les prix à l'exportation de la Slovaquie vont augmenter de l'effet du choc (100 %), moins l'effet désinflationniste en dollars ((16,8 %/(1/(1 + 100 %))), soit au final de 66 % contre 83 % en moyenne pour les 3 principaux pays de la zone euro. La perte de compétitivité est forte.

Graphique 3. Élasticité (x 100) des prix de production et des prix d'exportation en euros à une appréciation de l'euro en 2011



Note de lecture : si l'euro s'apprécie de 100 %, les prix des exportations luxembourgeoises en euros se réduisent de 16 %.
Sources : OCDE, calcul des auteurs.

La force de cette compensation a toutefois augmenté avec le temps, tout particulièrement en Allemagne. En 1995, France et Allemagne étaient parmi les pays où l'appréciation de l'euro était la moins compensée par la baisse du prix des *inputs*. Même si comme ses partenaires, la France s'est ouverte sur l'ensemble de la période, c'est surtout en Allemagne et dans une moindre mesure en Espagne qu'entre 1995 et 2011, l'impact s'est amplifié. La France s'est relativement moins intégrée avec les pays hors de la zone euro.

Tableau 1. Élasticité (x 100) des prix d'exportation en euros à une appréciation de l'euro depuis 1995

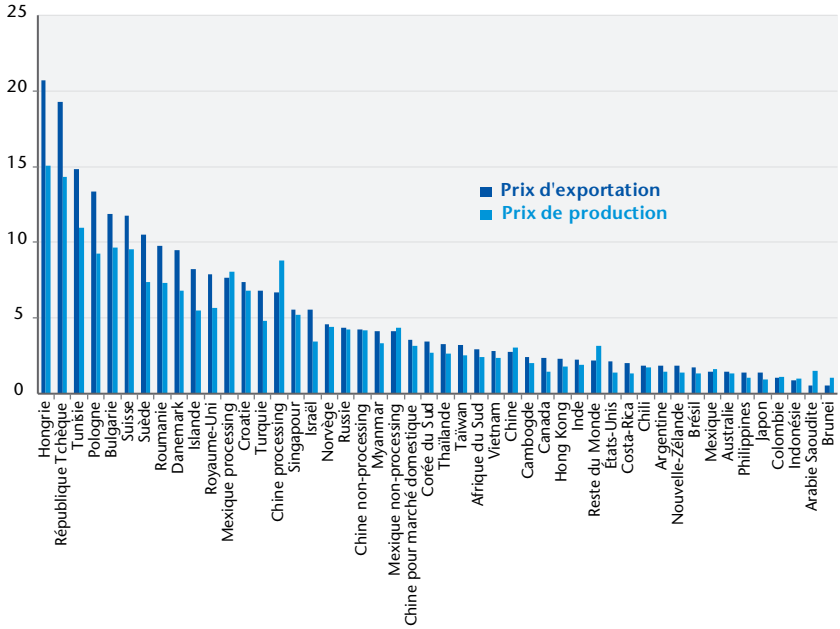
	1995	2000	2005	2009	2010	2011	2011/1995
Autriche	-4,0	-6,3	-6,3	-5,9	-6,6	-7,1	79,0
Belgique	-6,4	-9,1	-7,5	-7,6	-8,0	-10,2	59,0
Chypre	-6,2	-7,2	-6,1	-6,0	-6,4	-6,4	3,4
Allemagne	-4,4	-6,6	-7,0	-7,3	-8,0	-8,9	103,4
Espagne	-4,5	-7,0	-7,6	-6,8	-8,1	-8,9	98,4
Estonie	-9,0	-16,3	-12,6	-7,7	-9,5	-10,1	11,9
Finlande	-7,9	-11,6	-11,2	-10,8	-11,3	-12,8	61,3
France	-4,4	-6,9	-6,9	-6,5	-7,4	-7,9	78,4
Grèce	-4,3	-8,7	-7,6	-7,5	-8,4	-9,9	130,4
Irlande	-15,6	-15,5	-14,5	-14,6	-15,4	-15,2	-2,1
Italie	-4,5	-6,0	-6,6	-6,6	-8,1	-8,7	95,5
Lituanie	-7,4	-6,8	-5,5	-7,5	-7,7	-7,9	6,0
Luxembourg	-5,7	-11,6	-11,1	-14,6	-15,2	-16,2	186,8
Lettonie	-7,1	-8,4	-7,5	-5,7	-6,9	-7,7	9,1
Malte	-10,9	-14,7	-10,0	-11,5	-11,2	-10,9	0,2
Pays-Bas	-6,4	-7,8	-6,1	-5,9	-6,8	-7,0	9,3
Portugal	-5,1	-7,2	-7,5	-6,7	-7,9	-8,4	64,9
Slovaquie	-10,0	-13,0	-15,7	-15,3	-16,5	-16,8	69,0
Slovénie	-5,9	-7,8	-9,2	-8,0	-9,5	-9,8	65,3

Note de lecture : si l'euro s'apprécie de 100 % en 2011, les prix des exportations luxembourgeoises en euros se réduisent de 16,2 %.
Remarque : Nous avons étendu les calculs à des périodes et des pays hors zone euro (en grisé) pour mesurer l'évolution des interdépendances.
Sources : OCDE, calculs des auteurs.

Regardons maintenant hors de la zone euro. L'effet inflationniste d'une appréciation de l'euro est particulièrement fort pour les plus proches voisins (graphique 4). La Hongrie et la République tchèque enregistrent une hausse de leurs prix de production supérieure à 15 %. La Tunisie, la Bulgarie, la Suisse, la Pologne, et les

blocs liés aux activités de *processing* en Chine et au Mexique enregistrent eux des hausses comprises entre 9 et 13 %. Le Royaume-Uni est un peu moins affecté (+6,4 %). Les États-Unis et surtout le Japon restent à l'écart, avec un effet très marginal (+1,6 et +1 % respectivement).

Graphique 4. Élasticité(x 100) des prix en monnaie locale des pays hors zone euro à une appréciation de l'euro – 2011



Note de lecture : si l'euro s'apprécie de 100 % en 2011, les prix des exportations hongroises en monnaie locale augmentent de 21 %.
Sources : OCDE, calcul des auteurs.

2.3. Qui est le plus sensible aux chocs de change des pays hors zone euro ?

À l'inverse, le choc de taux de change peut provenir de l'extérieur et avoir dans ce cas des conséquences inflationnistes sur les prix de production et les prix à l'exportation de la zone euro. Dans le tableau 2, on présente l'impact sur les prix de production des pays de la zone euro, et notamment des quatre grands, de chocs provenant d'autres grands pays ou régions. Ainsi, il apparaît que :

— l'Allemagne est plus sensible que la France, l'Espagne et l'Italie aux chocs « lointains » (États-Unis, Japon et Chine) ;

— l'Allemagne et l'Espagne sont légèrement plus exposées à un choc de la livre sterling mais ce sont surtout l'Irlande et Malte qui subissent les plus forts effets ;

— un choc sur le taux de change des PECO hors zone euro a des effets inflationnistes beaucoup plus élevés en Allemagne qu'en France et en Espagne et même en Italie. L'Allemagne est le pays le plus affecté après les pays d'Europe de l'Est intégrés à la zone euro et l'Autriche ;

— l'Irlande est particulièrement vulnérable à un choc sur le dollar (+11,1 %) ou sur la livre sterling (+7,3 %). Les pays Baltes, la Slovaquie et la Slovénie sont essentiellement affectés par un choc en provenance des PECO hors zone euro.

Tableau 2. Élasticité (x 100) des prix de production en euros de la zone euro à une appréciation de la monnaie des pays cités – 2011

	PECO hors ZE*	Chine	Royaume-Uni	Japon	États-Unis
Autriche	1,6	0,6	0,6	0,3	0,9
Belgique	0,7	0,7	2,3	0,4	2,5
Chypre	0,6	0,6	2,2	0,2	1,2
Allemagne	1,3	0,9	1,2	0,5	1,6
Espagne	0,5	0,8	1,3	0,3	1,4
Estonie	1,6	1,3	1,2	0,5	0,9
Finlande	0,7	0,9	1,2	0,3	1,7
France	0,5	0,8	1,0	0,3	1,3
Grèce	0,4	0,3	0,7	0,1	1,2
Irlande	0,6	0,8	7,3	0,5	11,1
Italie	0,7	0,8	0,7	0,2	1,1
Lituanie	1,9	0,6	0,6	0,2	0,5
Luxembourg	1,0	0,6	5,3	0,4	5,5
Lettonie	2,2	0,6	0,7	0,2	0,6
Malte	0,6	0,7	5,4	0,3	1,2
Pays-Bas	0,4	0,5	1,9	0,3	2,6
Portugal	0,3	0,5	0,9	0,2	0,9
Slovaquie	4,3	1,4	0,9	0,6	0,8
Slovénie	2,4	1,0	0,8	0,3	1,2

* Les PECO hors ZE rassemblent la Bulgarie, la République tchèque, la Croatie, la Hongrie, la Pologne et la Roumanie.

Note de lecture : si la monnaie des PECO hors ZE s'apprécie de 100 %, les prix de production en euros de l'Autriche augmentent de 1,6 %.

Sources : OCDE, calculs des auteurs.

L'impact du renchérissement des *inputs* importés sur les prix d'exportation des pays de la zone euro est plus marqué. Globalement, l'exposition des pays demeure assez identique, à quelques différences près cependant (tableau 3). Ainsi,

— les quatre grands pays sont désormais davantage affectés par un choc sur le dollar que par un choc portant sur une autre monnaie ;

— la France est devenue plus sensible que ses partenaires à un choc du yuan. Mais elle reste moins exposée que les autres pays à une appréciation des monnaies des PECO hors zone euro.

Tableau 3. Élasticité (x 100) des prix d'exportation en euros de la zone euro à une appréciation de la monnaie des pays cités – 2011

	PECO hors ZE*	Chine	Royaume-Uni	Japon	États-Unis
Autriche	2,2	0,9	0,8	0,4	1,2
Belgique	0,9	0,8	3,1	0,5	3,0
Chypre	0,7	0,6	2,7	0,2	1,3
Allemagne	2,0	1,4	1,7	0,8	2,1
Espagne	0,8	1,2	1,6	0,5	1,9
Estonie	2,2	2,0	1,4	0,7	1,1
Finlande	0,9	1,2	1,5	0,4	2,1
France	0,8	1,5	1,5	0,6	2,2
Grèce	0,7	0,5	1,0	0,2	1,8
Irlande	0,7	0,8	7,3	0,5	13,0
Italie	1,2	1,4	1,0	0,4	1,5
Lituanie	2,1	0,7	0,7	0,2	0,5
Luxembourg	1,0	0,6	5,8	0,5	6,1
Lettonie	2,5	0,8	0,8	0,2	0,7
Malte	0,6	0,7	6,4	0,3	1,3
Pays-Bas	0,5	0,5	2,2	0,4	2,9
Portugal	0,6	0,8	1,3	0,3	1,2
Slovaquie	5,8	2,3	1,1	1,1	1,2
Slovénie	3,1	1,4	1,0	0,4	1,5

* Les PECO hors ZE rassemblent la Bulgarie, la République tchèque, la Croatie, la Hongrie, la Pologne et la Roumanie.
Note de lecture : si la monnaie des PECO hors ZE s'apprécie de 100 %, les prix d'exportation en euros de l'Autriche augmentent de 2,2 %.
Sources : OCDE, calculs des auteurs.

La forte intégration de l'Allemagne avec les PECO, situés notamment hors zone euro, est une spécificité allemande par rapport aux autres grands pays (notamment la France et l'Italie) qui s'est développée au cours des quinze dernières années (tableau 4). La Slovaquie et la Slovénie étaient déjà en 1995 les pays les plus sensibles aux modifications des taux de change de ces PECO hors zone euro. L'Allemagne, comme les pays Baltes et l'Autriche, s'est très fortement rapprochée de ses voisins d'Europe de l'Est.

Tableau 4. Élasticité (x 100) des prix d'exportation en euros de la zone euro à une appréciation d'une monnaie des PECO hors zone*

	1995	2000	2005	2009	2010	2011
Autriche	1,2	1,5	2,0	2,0	2,1	2,2
Belgique	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9
Chypre	0,6	0,5	0,5	1,1	0,8	0,7
Allemagne	0,7	1,1	1,5	1,8	1,8	2,0
Espagne	0,2	0,3	0,6	0,7	0,7	0,8
Estonie	0,7	0,8	1,6	1,4	1,8	2,2
Finlande	0,5	0,5	0,8	1,0	0,9	0,9
France	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8
Grèce	0,4	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7
Irlande	0,2	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
Italie	0,5	0,5	0,8	1,0	1,1	1,2
Lituanie	1,9	1,9	2,1	2,0	2,3	2,1
Luxembourg	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0
Lettonie	0,8	1,6	2,0	1,9	2,3	2,5
Malte	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6
Pays-Bas	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
Portugal	0,2	0,3	0,5	0,5	0,5	0,6
Slovaquie	7,4	6,2	6,7	5,6	5,5	5,8
Slovénie	3,5	3,5	3,4	2,8	3,0	3,1

* Les PECO hors ZE rassemblent la Bulgarie, la République tchèque, la Croatie, la Hongrie, la Pologne et la Roumanie
Note de lecture : si la monnaie des PECO hors ZE s'apprécie de 100 % en 2011, les prix d'exportation en euros de l'Autriche augmentent de 2,2 %.
Remarque : Nous avons étendu les calculs à des périodes et des pays hors zone euro (en grisé) pour mesurer l'évolution des interdépendances.
Sources : OCDE, calculs des auteurs.

2.4. Qui est le plus sensible aux chocs de productivité ?

Une question proche de la sensibilité aux chocs de change est celle de la sensibilité aux chocs de productivité. Dans la mesure où

la zone euro est dans l'ensemble une économie mature dont les gains de productivité ne sont pas très élevés, une source potentiellement importante de compétitivité-prix pour les pays de la zone euro est « l'importation » des gains de productivité des partenaires commerciaux par le biais de la baisse du prix de leurs *inputs*. C'est ce que nous étudions ici à partir de la réponse des prix à la production et à l'exportation à la suite des chocs de productivité.

Plus précisément, nous étudions les effets de chocs de prix d'*inputs* (hausses de 100 %), que nous assimilons à des chocs négatifs de productivité des facteurs de production. Ces chocs se diffusent dans le processus de production de l'économie monde selon la relation (2.3) définie précédemment.

Pour les pays non intégrés à une zone monétaire, le mécanisme de diffusion des chocs de productivité diffère de celui des chocs de change car :

— l'implémentation d'un choc de change neutralise, à l'aide de la matrice B, les interactions entre les secteurs d'un même pays dans le calcul de l'effet direct, puisque tous les secteurs partagent la même monnaie. Leurs prix relatifs sont donc inchangés au sein d'un même pays au premier tour du choc. À l'inverse, un choc de productivité dans un secteur d'un pays impactera directement les autres secteurs de ce même pays, *via* le coût des *inputs* du secteur choqué incorporés dans le processus de production ;

— surtout, l'appréciation de la monnaie d'un pays i entraîne une baisse du prix de ses *inputs* importés et vient atténuer l'effet du choc de change sur la compétitivité du pays. À l'inverse, un choc de productivité conduisant à une hausse du prix de production du pays *i* se diffuse dans les prix de production de tous les secteurs de tous les pays utilisant des *inputs* en provenance du pays *i*. A taux de change inchangé, la hausse des prix de production du pays *i* est donc amplifiée par la diffusion du choc initial.

Le graphique 5 montre que les effets d'un choc de prix d'*inputs* sont beaucoup plus importants que les effets d'un choc de change. Cela semble naturel puisque les échanges intersectoriels domestiques sont eux-mêmes plus importants que les échanges intersectoriels internationaux. Un choc de productivité se diffusera

d'autant plus aux partenaires commerciaux que le pays qui est à l'origine du choc est de grande taille et/ou très exportateur et qu'il est peu ouvert à l'importation (les prix de production des pays partenaires étant par définition moins affectés que ses propres prix de production des consommations intermédiaires réincorporées dans sa production).

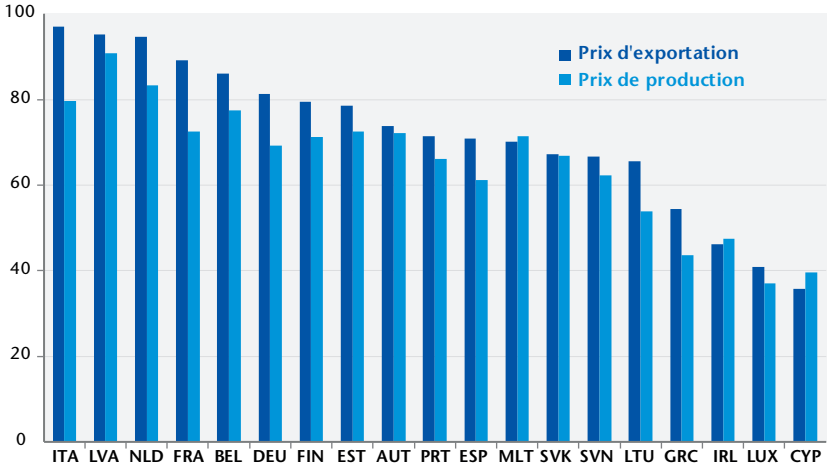
Parmi les pays de la zone euro les plus touchés par leur propre choc de productivité, on retrouve donc :

— de grand pays tels que l'Italie, la France et l'Allemagne ;

— des pays plus petits, mais très intégrés dans le processus de production mondiale, comme les Pays-Bas, et certains d'Europe de l'Est (Lettonie, République tchèque, Roumanie et Pologne).

Parmi les pays les moins impactés par un choc de productivité domestique, on retrouve logiquement les pays plus petits (Luxembourg, Chypre, Grèce…).

Graphique 5. Élasticité (x 100) des prix de production de la zone euro à un choc de productivité négatif domestique (hors effet initial) – 2011



Note de lecture : si un choc négatif de productivité augmente les prix des *inputs* domestiques italiens de 100 %, les prix d'exportation italiens augmentent de 197 %.
Sources : OCDE, calcul des auteurs.

L'étude des chocs de productivité permet tout particulièrement d'analyser l'intégration du commerce intra-zone euro. Le tableau 5 décrit, en colonne, l'impact sur chaque pays de la zone euro d'un choc sur les prix de production des principaux pays membres de la

zone : il permet donc de lire l'exposition des pays à des chocs de productivité extérieurs intra-européens.

Il apparaît logiquement que la taille des pays joue un rôle primordial dans leur influence sur le reste de la zone. Ainsi, les pays de la zone euro sont plus affectés par un choc de productivité en Allemagne que par un choc chez un autre partenaire. On retrouve ici l'intégration allemande avec la zone d'Europe de l'Est (les chocs de productivité allemands ont un impact 3 à 4 fois plus important que les chocs français dans cette zone) et avec l'Autriche ou les Pays-Bas. L'influence française est plus forte sur les pays d'Europe du Sud.

Tableau 5. Élasticité (x 100) des prix d'exportation de la zone euro à un choc de productivité négatif dans la zone euro (hors effet initial) – 2011

	Allemagne	Espagne	France	Italie	Pays Bas
Autriche	20,7	1,2	2,3	4,7	1,1
Belgique	11,4	2,4	7,2	2,7	5,6
Chypre	3,3	1,3	2,2	3,2	1,1
Allemagne	81,3	2,1	4,6	4,0	2,4
Espagne	6,8	70,9	6,1	4,3	1,2
Estonie	8,4	1,1	2,4	2,5	1,8
Finlande	8,7	1,3	2,3	2,3	2,1
France	9,2	3,1	89,3	4,7	1,4
Grèce	3,4	1,2	1,8	3,3	1,0
Irlande	5,7	2,2	3,2	2,3	8,8
Italie	8,5	2,7	4,8	97,1	1,2
Lituanie	5,0	1,1	1,2	2,4	1,4
Luxembourg	18,1	3,6	10,1	5,7	3,8
Lettonie	7,3	1,3	2,1	2,9	1,2
Malte	8,7	3,0	3,4	10,9	1,1
Pays-Bas	4,7	1,2	2,0	1,1	94,6
Portugal	7,8	17,8	5,1	4,5	1,3
Slovaquie	16,5	1,8	4,7	4,7	0,9
Slovénie	14,0	1,9	3,9	12,5	0,9

Note de lecture : si un choc négatif de productivité augmente les prix allemands de 100 %, les prix d'exportation autrichiens augmentent de 20,7 %. De même, les prix d'exportation allemands augmentent de 181,3 %.
Sources : OCDE, calculs des auteurs.

Si l'on analyse le tableau en ligne, on y lit la vulnérabilité de chaque pays à des chocs de productivité en provenance des principaux pays de la zone euro. Là aussi, la taille des pays joue un rôle, puisque les grands pays, généralement moins ouverts, sont moins

exposés à un choc de prix de leurs *inputs* importés. Les plus petits pays sont ainsi ceux qui importent une plus grande partie des chocs de leurs partenaires européens (58 % pour le Luxembourg, 35 % pour Malte, 57 % pour la Slovénie, ...). Pour autant, les pays les moins impactés par des chocs externes sont la Grèce (13 %) et les Pays-Bas (14 %), ce qui confirme qu'au-delà de la taille des pays, l'intégration de leurs chaînes de production et le type de spécialisation de l'appareil productif (vers le secteur primaire comme en Grèce ou tertiaire comme aux Pays-Bas) jouent un rôle important dans leur exposition.

Pour comparaison avec le tableau 3, le tableau 6 donne les élasticités des pays de la zone euro à des chocs de productivité négatifs venant de pays situés en dehors de la zone euro. Ses valeurs absolues ne sont pas comparables mais les pays les plus affectés par les

Tableau 6. Élasticité (x 100) des prix d'exportation de la zone euro à un choc de productivité dans les pays/région cités (hors effet initial) – 2011

	Peco hors ZE	Pecos ZE	Royaume-Uni	États-Unis	Japon	Chine
Autriche	6,1	2,0	1,6	2,4	1,0	0,9
Belgique	2,3	0,4	6,2	5,6	1,2	0,8
Chypre	1,7	0,6	5,9	2,4	0,5	0,7
Allemagne	5,8	1,1	3,6	4,3	1,8	1,4
Espagne	2,2	0,4	3,6	3,8	1,1	1,2
Estonie	6,3	86,5	2,9	2,3	1,8	2,1
Finlande	2,6	2,1	3,3	3,8	0,9	1,2
France	2,4	0,5	3,4	4,6	1,3	1,5
Grèce	1,9	0,2	2,1	3,5	0,4	0,6
Irlande	1,6	0,4	14,8	22,0	1,2	0,9
Italie	3,3	0,8	2,3	3,1	1,0	1,5
Lituanie	5,8	71,5	1,5	1,1	0,5	0,7
Luxembourg	2,4	0,5	10,8	10,3	1,0	0,6
Lettonie	7,0	6,0	1,7	1,4	0,5	0,9
Malte	1,8	0,3	12,1	2,5	0,6	0,7
Pays-Bas	1,3	0,3	4,3	5,2	0,8	0,5
Portugal	1,7	0,3	2,9	2,5	0,8	0,9
Slovaquie	17,6	67,8	2,4	2,6	2,9	2,4
Slovénie	8,4	67,8	2,2	3,2	1,0	1,4

Note de lecture : si un choc négatif de productivité augmente les prix des PECO hors ZE de 100 %, les prix d'exportation autrichiens augmentent de 6,1 %.
Sources : OCDE, calculs des auteurs.

différents chocs restent les mêmes. Il est toutefois intéressant de remarquer que l'augmentation relative des effets est moins importante pour la Chine, le Japon et les États-Unis que pour les PECO hors zone euro. La vulnérabilité aux chocs de productivité est bien sûr d'autant plus élevée que les liens entre les chaînes de valeur sont forts. Il y a aussi un effet « taille » comme l'illustre un choc de productivité des PECO appartenant à la zone euro sur leurs autres partenaires PECO appartenant à la zone euro (États baltes, Slovénie et Slovaquie).

3. Discussion

Les graphiques 1 à 3 font apparaître une certaine hétérogénéité, au sein de la zone euro, dans les élasticités des prix de production à des variations de change.

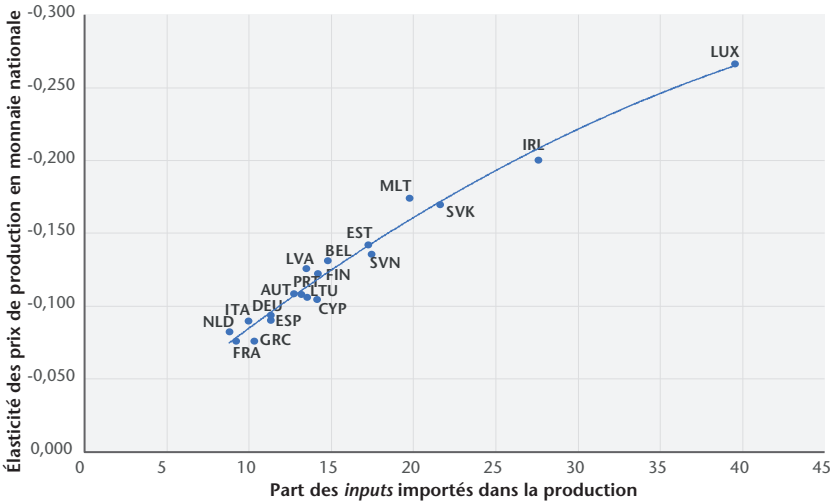
Ces réactions, conformément aux relations décrites dans les équations (2.5) et (2.6), dépendent en premier lieu de l'exposition des pays aux variations des prix d'*inputs* importés, et donc de la part des *inputs* importés dans la production nationale. Elles dépendent également de la diffusion des chocs importés au travers des échanges intersectoriels enregistrés dans la matrice *Input-Output*.

Le graphique 6 illustre le lien, au sein de la zone euro, entre l'élasticité des prix de production à un choc de change en monnaie nationale (fictive) et la part des *inputs* importés dans la production. La part des *inputs* importés apparaît ici comme le principal déterminant de la vulnérabilité des pays à un choc de change, avec une relation quasi-linéaire entre les deux variables. Le lien, dans le graphique 7, entre la part des *inputs* importés de pays *hors* zone euro et l'élasticité des prix de production à un choc de l'euro, fait apparaître une relation très similaire, avec un rapport de -0,75 entre la part des *inputs* importés et l'élasticité des prix de production à un choc de change. Ainsi, pour un pays dont la part des *inputs* importés dans la production (resp. la part des *inputs* importés de pays hors zone euro) est de 20 %, l'élasticité des prix de production à un choc de change sur la monnaie nationale (fictive) (resp. un choc de change de l'euro) sera de -0,75*0,2 = -0,15.

Cet ordre de grandeur est cohérent avec le choc initial décrit dans la partie 2.2 : un choc de change de 1 se traduit, en monnaie

locale et avant diffusion du choc, par une baisse du prix des *inputs* importés de -0,5 (relation 2.1 et 2.2). Au premier ordre, avant diffusion du choc, le rapport entre la part des *inputs* importés et l'élasticité des prix de production à un choc de change est donc de -0,5. Le choc se diffuse ensuite dans les prix à travers les échanges de la matrice *Input-output*, par application de la matrice Leontief inverse, ce qui conduit à amplifier le choc initial, portant le rapport entre la part des *inputs* importés et l'élasticité des prix de production à -0,75.

Graphique 6. Élasticité des prix de production des pays de la zone euro à un choc sur la monnaie nationale (fictive) et part des *inputs* importés dans la production 2011

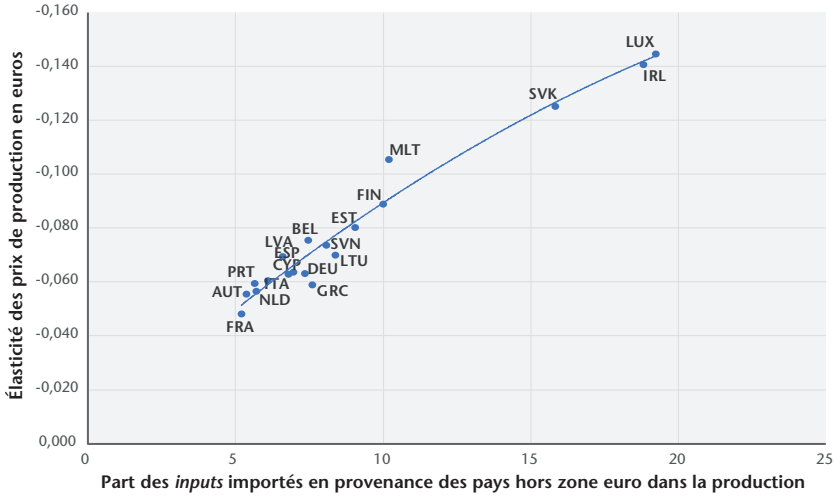


Sources : OCDE, calcul des auteurs.

Le graphique 8, enfin, illustre le lien entre l'élasticité des prix de production à des chocs de productivité nationaux négatifs et la part des *inputs* produits localement dans la production. Un choc initial de productivité aura un impact d'autant plus grand sur les prix intérieurs que le pays est fermé, avec un rapport proche de 2 entre la part des *inputs* nationaux dans la production et l'élasticité des prix intérieurs à des chocs de productivité moins 1 (ou hors choc initial). Ainsi, un pays dont la part dans la production des *inputs* produits localement est de 40 % présentera une élasticité à un choc de productivité négatif de près de 0,8, en plus du choc

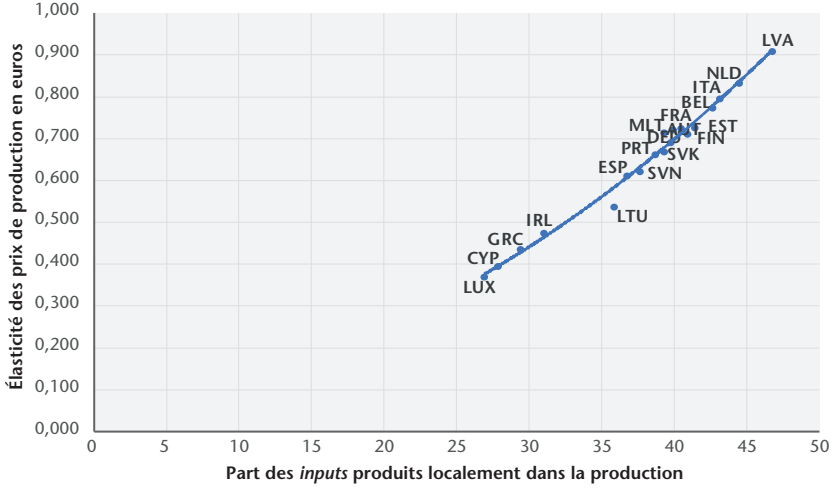
initial. Un choc de productivité initial de 1 % se traduira donc *in fine* par une hausse des prix de production de 1,8 % dans le pays qui subit le choc.

Graphique 7. Élasticité des prix de production des pays de la zone euro à un choc de change de l'euro et part des *inputs* importés de pays hors zone euro dans la production – 2011



Sources : OCDE, calcul des auteurs.

Graphique 8. Élasticité (hors effet initial) des prix de production des pays de la zone euro à un choc de productivité et part des *inputs* produits localement dans la production – 2011



Sources : OCDE, calcul des auteurs.

4. Conclusion

Cet article propose d'utiliser le dual du modèle de Leontief pour étudier la transmission des chocs de prix en utilisant les bases de données de l'OCDE rassemblées pour l'étude du commerce en valeur ajoutée. Notre modèle montre que, hors comportement de marge des entreprises, les chocs de change sont en partie compensés par une modification des prix des *inputs* ce qui, en cas d'appréciation du taux de change, limite la perte de compétitivité. L'effet désinflationniste sur les prix de production du pays qui subit l'appréciation du change est donc confirmé. Dans les pays de la zone euro que nous avons plus particulièrement étudiés ici, l'ampleur de cette compensation n'est pas négligeable et elle est d'autant plus élevée que les pays sont ouverts. Elle est aussi plus importante pour les prix d'exportation que pour les prix de production. Elle est plus élevée pour l'Allemagne que pour la France. La compétitivité-prix de la France est ainsi davantage protégée contre l'appréciation de l'euro mais *a contrario,* elle bénéficie moins de sa dépréciation. Cet effet est cependant assez faible (8 % du choc compensé contre 7 % pour la France), récent (la divergence est apparue dans la seconde moitié des années 2000), et partagé avec l'Espagne et l'Italie.

Les effets des chocs de productivité sont beaucoup plus importants, notamment parce qu'il y a un effet de caisse de résonance domestique avant leur diffusion internationale. Parmi les grands pays, l'Allemagne est la plus à même de bénéficier des gains de productivité dans les PECO, notamment ceux qui n'ont pas encore intégré la zone euro et qui sont aussi généralement de grande taille (Pologne, Hongrie, République tchèque). L'Allemagne perd son avantage par rapport aux autres pays de la zone euro lorsqu'il s'agit des gains de productivité émanant de Chine.

Tous ces effets s'expliquent en grande partie par l'effet direct de premier tour mesuré par la part des *inputs* dans la production.

Au-delà de ces résultats, notre modélisation permet aussi d'étudier les chocs de salaires, la structure et l'évolution des interdépendances, autant de sujets à développer dans des travaux ultérieurs.

Références

Acemoglu D., V. M. Carvalho, A. Ozdaglar et A. Tahbaz-Salehi, 2012, « The Network Origins of Aggregate Fluctuations », *Econometrica,* 80(5) : 1977-2016. doi:10.3982/ECTA9623.

Akkemik K. A., 2011, « Potential impacts of electricity price changes on price formation in the economy: a social accounting matrix price modeling analysis for Turkey », *Energy Policy*, Special Section on Offshore wind power planning, economics and environment, 39 (2): 854-64. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.005.

Amador J., R. Cappariello et R. Stehrer, 2015, « Global Value Chains: A View from the Euro Area », *Working Paper Series* 1761, Francfort, ECB.

Bems R. et R. C. Johnson, 2015, « Demand for Value Added and Value-Added Exchange Rates », *Working Paper* 21070, National Bureau of Economic Research. http://www.nber.org/papers/w21070.

Bournay J. et J.-P.Piriou, 2015, *La comptabilité nationale*. 17e édition. Paris, La Découverte.

Cappariello R. et A. Felettigh, 2015, « How does foreign demand activate domestic value added? A comparison among the major euro-area economies ». *Banca d'Italia Temi di Discussione,* 1001. Bank of Italy, Economic Research and International Relations Area. https://www.ecb.europa.eu/home/pdf/research/compnet/20140918/Cappariello_Felettigh.pdf?a22fe4df6b5f094987ef9ba37483b30a.

Carvalho V. M., 2014, « From micro to macro via production networks ». *The Journal of Economic Perspectives*, 23-47.

Daudin G., P. Monperrus-Veroni, C. Rifflart et D. Schweisguth, 2006, « Le commerce extérieur en valeur ajoutée ». *Revue de l'OFCE*, 3 : 129-165.

Daudin G., C. Rifflart et D. Schweisguth, 2011, « Who produces for whom in the world economy? » *Canadian Journal of Economics/Revue canadienne d'économie,* 44 (4) : 1403-1437.

De Backer K. et N. Yamano, 2012, « International Comparative Evidence on Global Value Chains », *STI Working Paper Series,* 2012/3, Paris: OECD.

Folloni G. et C. Miglierina, 1994, « Hypothesis of price formation in input-output tables », *Economic Systems Research,* 6 (3): 249.

Han S.-Y., S.-H. Yoo et S.-J. Kwak, 2004, « The role of the four electric power sectors in the Korean national economy: an input–output analysis », *Energy Policy,* 32 (13) : 1531-43. doi:10.1016/S0301-4215(03)00125-3.

Hummels D., J. Ishii et K.-M. Yi, 2001, « The Nature and Growth of Vertical Specialization in World Trade », *Journal of International Economics,* 54 (1) : 75-96.

Johnson R.C. et G. Noguera, 2012, « Accounting for intermediates: Production sharing and trade in value added », *Journal of International Economics,* 86 (2): 224-36. doi:10.1016/j.jinteco.2011.10.003.

Koopman R., Z. Wang et S.-J. Wei, 2014, « Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports », *American Economic Review,* 104 (2) : 459-94. doi:10.1257/aer.104.2.459.

Leontief Wassily W., 1951, « The structure of American economy, 1919-1939: an empirical application of equilibrium analysis », http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe?IsisScript=bac.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=033747.

Los B., M. P. Timmer, G. J. De Vries et J. Gaaitzen, 2016, « Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports: Comment », *American Economic Review,* 106 (7) : 1958-66. doi:10.1257/aer.20140883.

Milberg W. et D. Winkler, 2013, *Outsourcing economics: global value chains in capitalist development*, Cambridge University Press. https://books.google.fr/books?hl=en&lr=&id=Uy8gAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=milberg+winkler&ots=nqfw_voCK5&sig=IKyX9EVTJf9Jzx-hM4MYJeAtxJIA.

Oosterhaven J., 1996, « Leontief versus Ghoshian price and quantity models », *Southern Economic Journal*, 750-759.

Sato K. et N. Shrestha, 2014, « Global and Regional Shock Transmission - An Asian Perspective », *CESSA Working Paper*, Yokohama: Center for Economic and Social Studies in Asia (CESSA), Department of Economics, Yokohama National University.

Sharify N., 2013, « Input-output modelling of the effect of implicit subsidies on general prices », *Economic Modelling,* 33 (juillet): 913-17. doi:10.1016/j.econmod.2013.06.011.

Timmer M. P., E. Dietzenbacher, B. Los, R. Stehrer et G. J. Vries, 2015, « An illustrated user guide to the world input–output database: the case of global automotive production », *Review of International Economics,* 23 (3): 575-605.

Valadkhani A. et W. F. Mitchell, 2002, « Assessing the Impact of Changes in Petroleum Prices on Inflation and Household Expenditures in Australia », *Australian Economic Review,* 35 (2) : 122-32. doi:10.1111/1467-8462.00230.

Wodon Q. et J. C. Parra, 2008, « Comparing the Impact of Food and Energy Price Shocks on Consumers?: A Social Accounting Matrix Analysis for Ghana », *WPS* 4741, The World Bank. http://documents.worldbank.org/curated/en/2008/10/9900514/comparing-impact-food-energy-price-shocks-consumers-social-accounting-matrix-analysis-ghana.

ANNEXE

A1. Le modèle de prix de Leontief

Dans la mesure où nous nous intéressons ici à la formation des coûts de production, nous privilégions la lecture en colonne. Dans une économie à n branches, les colonnes du tableau I-O peuvent s'écrire comme un système de n équations :

$$\begin{aligned} y_1 &= z_{11} + z_{12} + \cdots + z_{1n} + r_1 = a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \cdots + a_{1n}y_n + r_1 \\ y_i &= z_{i1} + z_{i2} + \cdots + z_{in} + r_i = a_{i1}y_1 + a_{i2}y_2 + \cdots + a_{in}y_n + r_i \\ y_n &= z_{n1} + z_{n2} + \cdots + z_{nn} + r_n = a_{n1}y_1 + a_{n2}y_2 + \cdots + a_{nn}y_n + r_n \end{aligned} \quad (1.1)$$

où y_i est la production brute de la branche i, z_{ij} la valeur de y_i consommée par la branche i pour produire y_i, r_i la rémunération des facteurs primaires nécessaires à la production de y_i, $a_{ij} = z_{ij} / y_i$, le coefficient technique représentant la quantité d'input y_j absorbée par la branche i nécessaire à la production d'une unité de y_i.

Dans une notation matricielle, le système (1.1) devient :

$$Y = (y_1 \ \dots \ y_n) = (y_1 \ \dots \ y_n)\begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{n1} \\ \vdots & a_{ij} & \vdots \\ a_{1\mathrm{n}} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} + (r_1 \dots r_n) = \mathrm{YA} + \mathrm{R}$$

Y étant le vecteur de production de dimension (1,n), A la matrice structurelle des coefficients techniques de dimension (n,n) et R le vecteur de revenus des facteurs de dimension (1,n).

En supposant qu'il n'y a pas de substitution possible entre les inputs (en d'autres termes, que les coefficients techniques sont fixes), nous pouvons tirer de ces relations des équations de prix. Posons $y_i = p_i * q_i$, avec p_i et q_i respectivement le prix et la quantité physique de produit i. Pour produire une unité de chaque produit ($q_i = 1$), nous transformons le système (1.1) en un système de prix :

$$\begin{aligned} p_1 &= a_{11}p_1 + a_{12}p_2 + \cdots + a_{1n}p_n + v_1 \\ p_i &= a_{i1}p_1 + a_{i2}p_2 + \cdots + a_{in}p_n + v_i \\ p_n &= a_{n1}p_1 + a_{n2}p_2 + \cdots + a_{nn}p_n + v_n \end{aligned} \quad (1.2)$$

avec v_i,la rémunération des facteurs primaires nécessaires à la production d'une unité de production par la branche i. Dans ce cadre, p_i est déterminé par les prix de l'ensemble des *inputs* et le revenu des facteurs.

En terme matriciel, le nouveau système s'écrit : P = PA + V

avec P le vecteur de prix de production de dimension (1,n), V le vecteur de revenus de facteurs contenus dans une unité de production de dimension (1,n).

A2. Le modèle avec un choc de prix d'*inputs*

En situation de choc exogène de prix d'*inputs*, les entreprises font face à un changement de leurs coûts qu'elles transmettent directement dans leur prix de production. On suppose que ce choc exogène n'affecte pas la rémunération des facteurs capital et travail et donc qu'il n'y a pas d'ajustement sur les marges. Dans ces conditions, pour toute branche i allant de 1 à n, le choc c_i peut s'écrire, en niveau, comme l'écart absolu entre le prix initial p_i^0 et le prix facturé à la suite du choc (dit prix « choqué ») p_i^1 :

$$\Delta^0 p_1 = p_1^1 - p_1^0 = c_1$$
$$\Delta^0 p_i = p_i^1 - p_i^0 = c_i$$
$$\Delta^0 p_n = p_n^1 - p_n^0 = c_n$$

Sous forme matricielle, le système devient : $\Delta^0 \mathrm{P} = \mathrm{P}^1 - \mathrm{P}^0 = c$, avec $\Delta^0 \mathrm{P}$ le vecteur de choc de dimension (1,n) calculé comme l'écart entre P^0 le vecteur de prix initial et P^1 le vecteur de prix choqué. Le vecteur de choc c de dimension (1,n) est ce que nous appelons l'effet direct du choc sur les prix de production.

Cette hausse de prix est transmise aux branches qui utilisent les produits « choqués » comme consommations intermédiaires dans leur propre activité de production. L'ampleur de la hausse de prix de production dépend de la structure interindustrielle du pays. Plus la quantité d'*inputs* « choqués » contenue dans une unité de production est importante, plus forte sera la hausse du prix de production. On peut décrire ainsi le processus de diffusion. Dans un premier temps, l'impact additionnel du choc sur le prix de production de la branche 1 est égale à

$$\Delta^1 p_1 = c_1 a_{11} + \ldots + c_i a_{1i} + \cdots + c_n a_{1n} = \sum_{j=1}^{n} c_j a_{1j}$$

et, pour chaque industrie i,

$$\Delta^1 p_i = \sum_{j=1}^{n} c_j a_{ij}$$

ce qui peut s'écrire sous forme vectorielle : $\Delta^1 \mathrm{P} = c\mathrm{A}$

Mais les industries utilisant ces *inputs* dans leur processus de production verront leurs coûts à nouveau augmenter. Cette hausse de deuxième tour se répercutera à son tour sur les prix de production selon la relation suivante dans le cas de la branche *k* (par exemple) :

$$\Delta^2 p_k = \sum_{i=1}^{n} (\sum_{j=1}^{n} (c_j a_{ij})) a_{ki}$$

soit sous forme matricielle : $\Delta^2 \mathrm{P} = c\mathrm{AA} = c\mathrm{A}^2$

Cette séquence se répétera une troisième fois avec un nouveau changement de prix pour la branche *l* qui peut s'écrire de la façon suivante :

$$\Delta^3 p_l = \sum_{k=1}^{n} (\sum_{i=1}^{n} (\sum_{j=1}^{n} (c_j a_{ij)}) a_{ki}) a_{lk})$$

Sous forme matricielle, cette hausse s'écrit $\Delta^3 \mathrm{P} = c\mathrm{AAA} = c\mathrm{A}^3$

Au n^e^ tour, la hausse des prix de production sera de la forme $\Delta^n \mathrm{P} = c\mathrm{A}^n$.

Les coefficients techniques étant inférieurs à 1, l'effet du choc initial sur les prix d'*inputs* finit par s'épuiser. Finalement, en incrémentant tous les effets liés aux relations d'interdépendances industrielles, l'effet global du choc est égal à la somme du choc initial et de toutes les hausses apparues au cours des multiples cycles de production. L'effet total du choc, que nous appelons S est égal à

$$S = \Delta P = c + cA + cA^2 + \cdots + cA^n = c(I + A + A^2 + \cdots + A^n)$$

C'est-à-dire

$$S = c\,(\mathrm{I} - \mathrm{A})^{-1} \qquad (1.3)$$

$(\mathrm{I} - \mathrm{A})^{-1}$ est appelé « l'inverse de la matrice de Leontief ». S est un vecteur de dimension (1,n) composé des éléments s_{ij} mesurant l'effet total du choc sur le prix de production du secteur *j* du pays *i*.