

N° 12-001-X au catalogue
ISSN 1712-5685

Techniques d'enquête

Étalonnage temporel avec préservation des taux de croissance (PTC) : Inconvénients et autres solutions

par Jacco Daalmans, Tommaso Di Fonzo, Nino Mushkudiani et Reinier Bikker

Date de diffusion : le 21 juin 2018



Statistique
Canada

Statistics
Canada

Canada

Comment obtenir d'autres renseignements

Pour toute demande de renseignements au sujet de ce produit ou sur l'ensemble des données et des services de Statistique Canada, visiter notre site Web à www.statcan.gc.ca.

Vous pouvez également communiquer avec nous par :

Courriel à STATCAN.infostats-infostats.STATCAN@canada.ca

Téléphone entre 8 h 30 et 16 h 30 du lundi au vendredi aux numéros sans frais suivants :

- Service de renseignements statistiques 1-800-263-1136
- Service national d'appareils de télécommunications pour les malentendants 1-800-363-7629
- Télécopieur 1-877-287-4369

Programme des services de dépôt

- Service de renseignements 1-800-635-7943
- Télécopieur 1-800-565-7757

Normes de service à la clientèle

Statistique Canada s'engage à fournir à ses clients des services rapides, fiables et courtois. À cet égard, notre organisme s'est doté de normes de service à la clientèle que les employés observent. Pour obtenir une copie de ces normes de service, veuillez communiquer avec Statistique Canada au numéro sans frais 1-800-263-1136. Les normes de service sont aussi publiées sur le site www.statcan.gc.ca sous « Contactez-nous » > « Normes de service à la clientèle ».

Note de reconnaissance

Le succès du système statistique du Canada repose sur un partenariat bien établi entre Statistique Canada et la population du Canada, les entreprises, les administrations et les autres organismes. Sans cette collaboration et cette bonne volonté, il serait impossible de produire des statistiques exactes et actuelles.

Signes conventionnels dans les tableaux

Les signes conventionnels suivants sont employés dans les publications de Statistique Canada :

- . indisponible pour toute période de référence
- .. indisponible pour une période de référence précise
- ... n'ayant pas lieu de figurer
- 0 zéro absolu ou valeur arrondie à zéro
- 0^s valeur arrondie à 0 (zéro) là où il y a une distinction importante entre le zéro absolu et la valeur arrondie
- ^p provisoire
- ^r révisé
- x confidentiel en vertu des dispositions de la *Loi sur la statistique*
- ^E à utiliser avec prudence
- F trop peu fiable pour être publié
- * valeur significativement différente de l'estimation pour la catégorie de référence ($p < 0,05$)

Publication autorisée par le ministre responsable de Statistique Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Industrie 2018

Tous droits réservés. L'utilisation de la présente publication est assujettie aux modalités de l'[entente de licence ouverte](#) de Statistique Canada.

Une [version HTML](#) est aussi disponible.

This publication is also available in English.

Étalonnage temporel avec préservation des taux de croissance (PTC) : Inconvénients et autres solutions

Jacco Daalmans, Tommaso Di Fonzo, Nino Mushkudiani et Reinier Bikker¹

Résumé

L'étalonnage des séries mensuelles et trimestrielles à des données annuelles est une pratique courante adoptée par de nombreux instituts nationaux de statistique. Le problème de l'étalonnage se pose quand des données temporelles pour une même variable cible sont mesurées à différentes fréquences et qu'il est nécessaire d'éliminer les différences entre les sommes des valeurs infra-annuelles et les valeurs annuelles de référence. Plusieurs méthodes d'étalonnage sont décrites dans la littérature. La procédure d'étalonnage avec préservation des taux de croissance (PTC) est souvent considérée comme étant la meilleure. Il est généralement soutenu qu'elle a pour fondement un principe idéal de préservation du mouvement. Toutefois, nous montrons que l'étalonnage PTC présente des inconvénients appréciables qui importent pour les applications pratiques et qui ne sont pas décrits dans la littérature. Nous considérons d'autres modèles d'étalonnage qui ne souffrent pas de certains des effets indésirables de la PTC.

Mots-clés : Étalonnage; préservation des taux de croissance; réconciliation des données; macro-intégration.

1 Introduction

L'étalonnage des séries mensuelles et trimestrielles à des données annuelles est une pratique courante adoptée par de nombreux instituts nationaux de statistique. Par exemple, chaque année *Statistics Netherlands* met en concordance 12 tableaux trimestriels des ressources et des emplois avec les trois comptes annuels les plus récents (Eurostat, 2013, Annexe 8C).

Le problème de l'étalonnage se pose quand des données temporelles pour une même variable cible sont mesurées à différentes fréquences avec différents niveaux de précision. On pourrait s'attendre à ce qu'une relation d'agrégation temporelle entre ces séries soit satisfaite, par exemple, que la somme de quatre valeurs trimestrielles soit égale à une valeur annuelle, mais à cause de différences dans les sources de données et les méthodes de traitement, il est fréquent que ce ne soit pas le cas. L'étalonnage est le processus utilisé pour éliminer de telles différences. Dans ce processus, les valeurs provisoires sont ajustées afin d'établir une cohérence mathématique entre les séries temporelles de faible fréquence (par exemple, annuelles) et de haute fréquence (par exemple, trimestrielles ou mensuelles).

L'étalonnage est régi par deux grands principes. Premièrement, les valeurs de référence de faible fréquence sont fixées, parce que ces sources de données décrivent mieux les niveaux et les tendances de long terme que les sources de fréquence élevée. Deuxièmement, les mouvements de court terme des séries temporelles de haute fréquence sont préservés autant que possible, car ces séries de données sont les seules sources d'information sur les mouvements de court terme.

Plusieurs méthodes d'étalonnage sont décrites dans la littérature. Ces méthodes diffèrent par la façon dont les mouvements de court terme des séries de haute fréquence sont définis. On distingue des méthodes multiplicatives et des méthodes additives. Les méthodes multiplicatives visent à préserver les variations

1. Jacco Daalmans, Statistics Netherlands, CP 24500, 2490 HA La Haye, Pays-Bas. Courriel : j.daalmans@cbs.nl; Tommaso Di Fonzo, Département des sciences statistiques, Université de Padoue, Via Cesare Battisti, 241, 35121 Padoue PD, Italie. Courriel : difonzo@stat.unipd.it; Nino Mushkudiani, Statistics Netherlands, La Haye. Courriel : n.mushkudiani@cbs.nl; Reinier Bikker, Statistics Netherlands, La Haye, Courriel : r.bikker@cbs.nl.

relatives de la série temporelle de haute fréquence provisoire, tandis que les méthodes additives visent à préserver les variations absolues. Dans le présent article, nous nous penchons uniquement sur les variantes multiplicatives.

Deux méthodes multiplicatives bien connues sont celles des premières différences proportionnelles (PDP) de Denton (1971) et de la préservation des taux de croissance (PTC) de Causey et Trager (1981; voir aussi Trager, 1982 et Bozik et Otto, 1988).

Dans la littérature, il est généralement reconnu que la PTC est la méthode dont les fondements théoriques sont les plus solides (Bloem, Dippelsman et Maehle, 2001, page 100). Elle préserve explicitement les taux de variation d'une période à l'autre de la série provisoire. Cependant, la méthode PDP de Denton est d'usage plus répandu, parce qu'elle est techniquement plus facile à appliquer. Mathématiquement, la méthode de Denton comprend un problème d'optimisation quadratique sous des contraintes linéaires classiques, tandis que la méthode PTC requiert la résolution d'un problème non linéaire sous des contraintes linéaires plus difficile, dont la solution peut être obtenue efficacement au moyen d'un algorithme de points intérieurs (Di Fonzo et Marini, 2015).

Un certain nombre d'études en simulation ont montré que la méthode PDP de Denton et la méthode PTC donnent des résultats similaires ou presque similaires dans la grande majorité des cas (Harvill Hood, 2005; Titova, Findley et Monsell, 2010; Di Fonzo et Marini, 2012 et Daalmans et Di Fonzo, 2014). Par conséquent, la méthode PDP de Denton peut être utilisée comme une approximation de la méthode PTC.

L'objectif du présent article est de montrer que la PTC présente des inconvénients qui, autant que nous sachions, ne sont pas décrits dans la littérature. Un premier inconvénient est que le fait d'appliquer l'étalonnage en « avançant » ou en « reculant » dans le temps a de l'importance. Dans ce contexte, nous présenterons un lien avec la propriété de réversibilité du temps issue de la théorie des indices. Un deuxième inconvénient est que des singularités dans la fonction-objectif de la méthode PTC peuvent mener à des résultats indésirables.

Un deuxième objectif de l'article est de présenter d'autres méthodes d'étalonnage qui satisfont la propriété de réversibilité du temps. Le présent article peut être utile aux praticiens qui appliquent ou envisagent d'appliquer des techniques d'étalonnage.

À la section 2, nous commençons par décrire formellement les méthodes d'étalonnage PDP de Denton et PTC. À la section 3, nous décrivons les inconvénients de la méthode PTC. À la section 4, nous proposons deux nouvelles méthodes d'étalonnage qui peuvent être utilisées pour remplacer la méthode PTC. À la section 5, nous donnons les résultats d'une application effectuée sur des données réelles en guise d'illustration. Enfin, à la section 6, nous présentons nos conclusions.

2 Méthodes d'étalonnage des séries temporelles

La présente section explique les procédures d'étalonnage par la méthode PDP de Denton et la méthode PTC. Puisque les contraintes d'agrégation temporelle sont les mêmes pour les deux méthodes, nous commençons par les décrire. Puis, nous expliquons les procédures d'étalonnage par les méthodes PDP de Denton et PTC.

Nous nous concentrons sur les variantes univariées de ces méthodes, dans lesquelles la cohérence temporelle est la principale contrainte d'intérêt. Toutefois, les observations qui sont présentées dans la suite de l'article sont également valides pour le cas multivarié, où plusieurs séries temporelles sont réconciliées simultanément et des contraintes additionnelles entre les séries s'appliquent (voir Di Fonzo et Marini, 2011 et Bikker, Daalmans et Mushkudiani, 2013).

2.1 Notation générale et contraintes temporelles

En général, les contraintes d'agrégation temporelle peuvent être exprimées sous forme d'un système linéaire d'égalités $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$, où \mathbf{x} est le vecteur cible de valeurs de haute fréquence, \mathbf{b} est un vecteur de valeurs de faible fréquence, et \mathbf{A} est une matrice d'agrégation temporelle convertissant les valeurs de haute fréquence en valeurs de faible fréquence.

La forme particulière de ces contraintes dépend de la nature des variables concernées. Pour les variables de flux, une somme de valeurs infra-annuelles, par exemple, quatre valeurs trimestrielles, doit habituellement être la même qu'une valeur annuelle. Pour les variables de stock, l'une des valeurs infra-annuelles, habituellement la première ou la dernière, doit être la même que la valeur annuelle pertinente. Par exemple, pour les variables de flux trimestrielles/annuelles, en supposant pour simplifier que l'intervalle de temps disponible débute au premier trimestre de la première année et se termine au quatrième trimestre de la dernière année observée, la matrice est

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

En désignant par \mathbf{p} un vecteur de valeurs provisoires, en général la situation est $\mathbf{Ap} \neq \mathbf{b}$, sinon aucun ajustement ne serait nécessaire. Nous recherchons un vecteur d'estimations étalonnées \mathbf{x}^* , un résultat particulier pour \mathbf{x} , qui devrait être « aussi proche que possible » des valeurs provisoires et qui satisfait $\mathbf{Ax}^* = \mathbf{b}$.

Les périodes infra-annuelles ne doivent pas toutes être couvertes par une valeur repère. Donc, le nombre de lignes dans \mathbf{A} peut être plus petit que le nombre total de périodes annuelles, voir par exemple, Dagum et Cholette (2006) pour plus de renseignements.

Dans un exercice d'étalonnage, les caractéristiques de la série originale \mathbf{p} doivent être prises en considération. Par exemple, dans un cadre de séries temporelles économiques, la préservation de la dynamique temporelle (quelle que soit sa définition) des séries provisoires intéresse souvent beaucoup le praticien.

2.2 Préservation des taux de croissance (PTC) et premières différences proportionnelles (PDP) de Denton

La présente section donne une description formelle des méthodes PTC et PDP de Denton.

Causey et Trager (1981; voir aussi Monsour et Trager, 1979 et Trager, 1982) obtiennent les valeurs étalonnées x_t^* , $t = 1, \dots, n$ en tant que solution du problème d'optimisation suivant :

$$\min_{x_t} f_P^{\text{PTC}}(\mathbf{x}) \quad \text{sous les contraintes} \quad \mathbf{Ax} = \mathbf{b}, \quad \text{où} \quad f_P^{\text{PTC}}(\mathbf{x}) = \sum_{t=2}^n \left(\frac{x_t}{x_{t-1}} - \frac{p_t}{p_{t-1}} \right)^2. \quad (2.1)$$

Le critère PTC à minimiser, $f_P^{\text{PTC}}(\mathbf{x})$, relie explicitement les taux de croissance : il minimise la somme des carrés des différences entre les taux de croissance des valeurs provisoires et des valeurs étalonnées. L'indice inférieur « P » dans la fonction de minimisation signifie « prospective »; plus loin dans l'article, nous définirons une fonction de minimisation « rétrospective ».

Denton (1971) a proposé une procédure d'étalonnage fondée sur les *premières différences proportionnelles* (PDP) entre la série cible et la série originale. Cholette (1984) a modifié légèrement le résultat de Denton, afin de traiter correctement les conditions de départ du problème. Les estimations étalonnées dans la méthode PDP sont donc obtenues en tant que solution du problème de minimisation quadratique sous contraintes

$$\min_{x_t} f_P^{\text{PDP}}(\mathbf{x}) \quad \text{sous les contraintes} \quad \mathbf{Ax} = \mathbf{b}, \quad \text{où} \quad f_P^{\text{PDP}}(\mathbf{x}) = \sum_{t=2}^n \left(\frac{x_t}{p_t} - \frac{x_{t-1}}{p_{t-1}} \right)^2. \quad (2.2)$$

Le critère PDP de Denton à minimiser, $f_P^{\text{PDP}}(\mathbf{x})$, est une somme de termes linéaires au carré, qui est plus facile à manipuler que la fonction-objectif PTC non linéaire.

3 Deux problèmes associés à l'étalonnage PTC

3.1 Réversibilité du temps

La réversibilité du temps signifie que cela n'a pas d'importance qu'une méthode soit appliquée prospectivement ou rétrospectivement. Cette propriété peut être intéressante dans de nombreux domaines d'application.

En physique, cela signifie que si le temps se déroulait à reculons, tous les mouvements seraient inversés. En théorie des indices, la réversibilité du temps a été introduite dans un ouvrage classique de Fisher (1922, page 64). Il y est dit que [Traduction] « si, en prenant 1913 comme base et en avançant vers 1918, nous constatons que, en moyenne, les prix ont doublé, alors, en procédant dans la direction inverse, nous devons trouver que le niveau des prix de 1913 est la moitié de celui de 1918 ». L'élément qui motive l'application de ce principe est que la direction du temps peut être considérée comme étant arbitraire, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune direction privilégiée naturellement.

Le principe de la réversibilité du temps peut également être appliqué dans le contexte de l'étalonnage. Cela signifie que, si nous inversons une série temporelle, appliquons l'étalonnage et inversons de nouveau la série étalonnée, nous obtiendrons exactement les mêmes résultats que pour l'étalonnage de la série originale. Autrement dit, les résultats étalonnés ne permettent pas de voir si l'étalonnage a été appliqué prospectivement ou rétrospectivement.

L'étalonnage d'une série temporelle inversée, conformément aux méthodes PTC et PDP de Denton, respectivement, équivaut à minimiser les fonctions-objectif suivantes

$$f_R^{\text{PTC}}(\mathbf{x}) = \sum_{t=2}^n \left(\frac{x_{t-1}}{x_t} - \frac{p_{t-1}}{p_t} \right)^2 \quad (3.1)$$

et

$$f_R^{\text{PDP}}(\mathbf{x}) = \sum_{t=2}^n \left(\frac{x_{t-1}}{p_{t-1}} - \frac{x_t}{p_t} \right)^2, \quad (3.2)$$

où l'indice inférieur « R » signifie « rétrospective ». Ces fonctions-objectif sont obtenues à partir des fonctions-objectif prospectives en interchangeant t et $t - 1$. À partir d'ici, la minimisation de (3.1) ou (3.2) sera appelée « étalonnage rétrospectif », à l'opposé de l'étalonnage prospectif, classique.

Comme nous venons de le mentionner, une méthode d'étalonnage satisfait la propriété de réversibilité du temps si les étalonnages prospectif et rétrospectif aboutissent aux mêmes résultats. Il est facile de voir que $f_P^{\text{PTC}}(\mathbf{x}) \neq f_R^{\text{PTC}}(\mathbf{x})$, tandis que $f_P^{\text{PDP}}(\mathbf{x}) = f_R^{\text{PDP}}(\mathbf{x})$. Il découle de cela que la méthode PDP de Denton satisfait la propriété de réversibilité du temps, tandis que la méthode PTC ne le fait pas.

Plus concrètement, dans de nombreux processus de production, on applique un étalonnage « prospectif », par exemple pour réconcilier les tableaux des ressources et des emplois des Pays-Bas (Bikker et coll., 2013). Cependant, après une révision, la série temporelle révisée peut être construite « rétrospectivement », en utilisant des fonctions-objectif rétrospectives. Il est fortement indésirable qu'existent dans les résultats des différences attribuables purement à une différence de « direction temporelle ». Les praticiens qui ne sont pas conscients de la propriété de réversibilité du temps peuvent appliquer des méthodes d'étalonnage prospective et rétrospective, et supposer erronément que les deux méthodes mènent aux mêmes résultats.

Même s'il est vrai que toute application d'étalonnage peut être restreinte à la préservation des taux de croissance prospectifs, il est indésirable que les résultats soient affectés par la propriété non pertinente de direction du temps. Par conséquent, toute méthode d'étalonnage devrait, de préférence, satisfaire le principe de réversibilité du temps. De surcroît, la sous-section 3.3 illustre le fait qu'une méthode d'étalonnage qui n'est pas symétrique dans le temps peut modifier le moment où ont lieu les événements économiques les plus importants, par exemple, les pics et les creux qui marquent le début et la fin d'une crise.

3.2 Singularité

Un second problème que pose la PTC découle de la singularité de sa fonction-objectif. Si x_{t-1} tend vers zéro dans le cas d'un étalonnage prospectif (ou x_t dans le cas d'un étalonnage rétrospectif), la valeur de la fonction-objectif tend vers l'infini, ce qui cause plusieurs difficultés.

L'une des complications est que le problème d'optimisation devient instable, une faible variation dans les valeurs provisoires pouvant donner lieu à un important changement dans les valeurs étalonnées.

Conséquemment, des révisions indésirablement grandes peuvent être obtenues quand on effectue l'étalonnage de données mises à jour.

Une autre complication est que, puisqu'une correction des valeurs proches de zéro peut être lourdement pénalisée, les taux de croissance de ces valeurs sont fortement préservés. Néanmoins, cela peut avoir pour prix des corrections relativement importantes des autres taux de croissance. Par ailleurs, on peut soutenir que les taux de croissance contiennent peu d'information pour les valeurs extrêmement petites (proches de zéro). D'où, la préservation des taux de croissance peut être jugée inappropriée dans ce cas. La sous-section 5.3 offre un exemple réel de ce problème.

Une troisième complication est que, comme les valeurs étalonnées proches de zéro peuvent entraîner une grande valeur de la fonction-objectif, les méthodes PTC ont tendance à éviter de telles valeurs, ce qui peut donner des profils de correction irréguliers. En particulier, un problème dans lequel toutes les valeurs provisoires sont positives peut donner des valeurs étalonnées négatives. Considérons un exemple dans lequel deux valeurs consécutives égalent 100. Alors, un ajustement de la première valeur de 100 à -100 est moins onéreux en ce qui concerne la valeur de la fonction-objectif de la PTC qu'une correction allant de 100 à 30. Les valeurs correspondantes de la fonction-objectif sont $((100/-100) - (100/100))^2 = 4$ et $((100/30) - (100/100))^2 = 5,44$. Toutefois, une valeur qui passe d'un grand chiffre positif à un grand chiffre négatif ne sera habituellement pas considérée comme une bonne préservation du mouvement. Donc, l'exemple montre aussi qu'il est contestable d'utiliser les taux de croissance en présence de valeurs positives et négatives.

Par conséquent, il peut être indiqué d'éviter les résultats négatifs grâce à des contraintes de non-négativité, voir la sous-section 4.1 pour des renseignements plus détaillés. La méthode PDP de Denton est moins susceptible de produire des valeurs négatives. Dans l'exemple précédent, un ajustement de 100 à 30 est préféré à un ajustement de 100 à -100. Un exemple réel de ce problème est présenté à la sous-section 5.3.

Même si la singularité de la fonction-objectif de la méthode PTC peut donner lieu à des valeurs étalonnées négatives, il ne s'agit pas de la seule cause. La méthode PDP de Denton peut aussi produire des valeurs négatives. En général, des valeurs étalonnées négatives risquent d'être obtenues quand la variation (relative) d'une valeur repère à une autre diffère de manière significative de la variation (relative) par rapport aux valeurs provisoires annualisées sous-jacentes.

Une quatrième complication liée à la fonction-objectif singulière de la méthode PTC est que des pics et des creux irréguliers peuvent apparaître dans une série temporelle étalonnée. Cela tient au fait que, dans la méthode PTC classique, une correction d'une grande valeur positive pour passer à une valeur proche de zéro est moins coûteuse en ce qui concerne la valeur de la fonction-objectif qu'une correction opposée pour passer d'une valeur proche de zéro à une grande valeur positive. Autrement dit, une correction d'un taux de croissance g par un facteur c , où $c > 1$, correspond à une plus grande valeur de la fonction-objectif qu'une correction par $1/c$, surtout si c est grand. Les valeurs de la fonction-objectif sont $((c-1)g)^2$ et $\left(\frac{c-1}{c}g\right)^2$, respectivement. Puisque de grandes corrections à la hausse à partir d'une valeur proche de zéro sont relativement coûteuses, elles sont évitées dans la mesure du possible. Donc, les valeurs étalonnées par la méthode PTC évoluent plus graduellement à partir d'une valeur proche de zéro que les résultats de la méthode de Denton. Pour corriger cette situation, de plus grands pics peuvent être nécessaires aux périodes suivantes pour satisfaire la contrainte d'agrégation temporelle. Puisque l'étalonnage vise habituellement à

produire des corrections aussi lisses que possible au cours du temps, les pics irréguliers peuvent être jugés indésirables. À la relativement faible croissance à partir d'une valeur proche de zéro est associé le fait que les pics ont tendance à apparaître plus tard dans le temps que dans le cas d'une méthode temporellement symétrique telle que la méthode PDP de Denton. Dans le cas de la variante rétrospective de la méthode PTC, l'opposé se produit, les séries temporelles étalonnées évoluant assez rapidement à partir d'une valeur proche de zéro, ce qui produit des pics relativement tôt. L'exemple de la sous-section 3.3 illustre ce problème.

3.3 Exemple

Suit un exemple qui illustre les problèmes que posent les méthodes PTC. Dans cet exemple, une série temporelle comprenant 15 mois est réconciliée à cinq valeurs trimestrielles. La série mensuelle est constante, chaque valeur mensuelle étant égale à 10. Les valeurs trimestrielles sont 80, 250, 80, 400 et 100, respectivement. La figure 3.1 permet de comparer les résultats de la méthode PDP de Denton, la méthode PTC prospective (PTCP) et la méthode PTC rétrospective (PTCR).

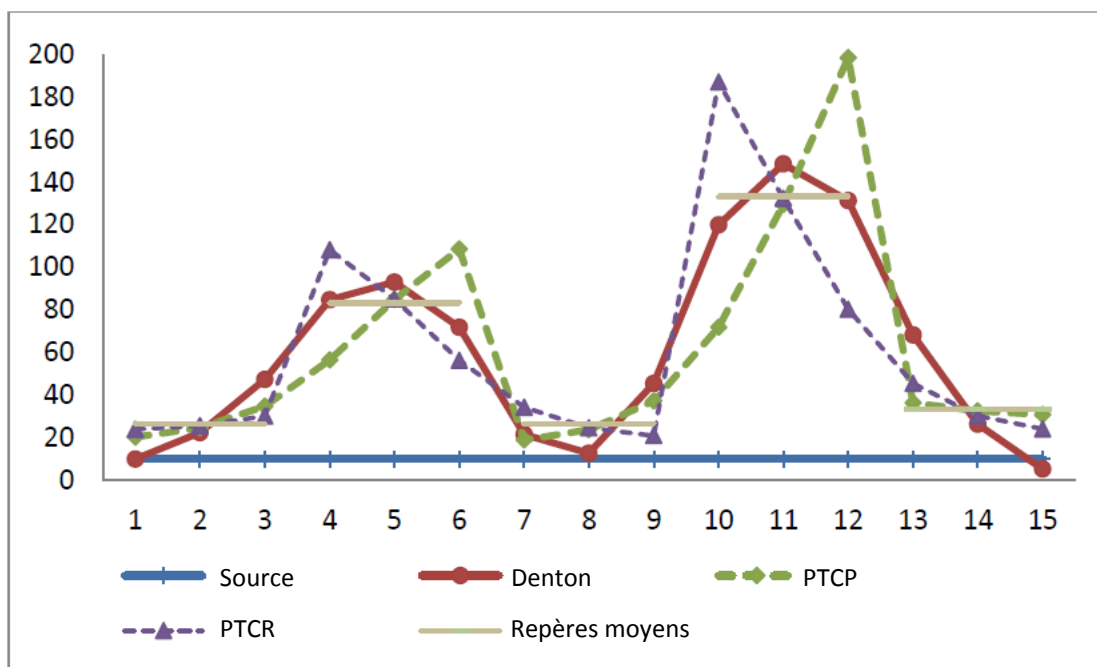


Figure 3.1 Exemple : Résultats de trois méthodes d'étalonnage. « Repère moyen » désigne le niveau moyen des valeurs mensuelles qui concordent avec les repères trimestriels et qui est calculé comme étant le tiers de son équivalent trimestriel.

Vu que les différences les plus importantes s'observent entre les deux méthodes PTC, le principe de réversibilité du temps n'est manifestement pas satisfait. Les points le plus élevé et le plus bas apparaissent à des mois différents. L'exemple montre clairement que l'utilisation d'une méthode d'étalonnage différente peut donner lieu à des conclusions considérablement différentes.

Comme il est indiqué à la sous-section 3.2, la méthode PTCP mène à des pics relativement tardifs, c'est-à-dire au dernier mois de chaque trimestre, tandis que la méthode PTCR produit des pics tôt, c'est-à-dire le premier mois de chaque trimestre. Les résultats de la méthode PDP de Denton se situent entre les deux, les pics et les creux se manifestant durant le mois du milieu de chaque trimestre.

Il convient toutefois de souligner que l'exemple ne peut pas être considéré comme étant représentatif des applications réelles. En général, les méthodes d'étalonnage ne sont pas destinées à être utilisées pour réconcilier des écarts importants ni pour des séries infra-annuelles constantes. Pour expliquer ce dernier point, une hypothèse importante de la méthode PDP de Denton est que les séries infra-annuelles fournissent de l'information sur les variations de court terme. Toutefois, une série constante ne peut pas être considérée comme très informative. Néanmoins, la question de la réconciliation de séries temporelles constantes se pose dans des problèmes étroitement liés à l'étalonnage, comme l'interpolation et la calendrialisation (voir par exemple, Dagum et Cholette, 2006 et Boot, Feibes et Lisman, 1967). Le présent exemple est choisi pour des raisons purement éducatives. Il donne un bon aperçu des propriétés des différents types de fonctions-objectif. Le lecteur est invité à consulter la sous-section 5.3 pour des exemples plus réalistes.

4 Autres techniques d'étalonnage

À la section 3, nous avons décrit deux problèmes liés aux méthodes PTC. À la présente section, nous considérons deux techniques d'étalonnage de rechange qui résolvent la question de la propriété d'irréversibilité du temps.

4.1 Préservation simultanée des taux de croissance

Ici, nous proposons deux autres fonctions-objectif pour la PTC. La première est une variante « temporellement symétrique » de la PTC, définie par

$$f_S^{\text{PTC}}(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \sum_{t=2}^n \left(\frac{x_t}{x_{t-1}} - \frac{p_t}{p_{t-1}} \right)^2 + \frac{1}{2} \sum_{t=2}^n \left(\frac{x_{t-1}}{x_t} - \frac{p_{t-1}}{p_t} \right)^2, \quad (4.1)$$

où l'indice inférieur « S » signifie « simultanée ». La méthode sera appelée PTCS dans la suite de l'exposé. La fonction-objectif de la méthode PTCS préserve à la fois les taux de croissance prospectifs et rétrospectifs. Autant que sachent les auteurs, cette méthode n'a été mentionnée nulle part ailleurs dans la littérature. Il est facile de voir que la PTCS satisfait le principe de réversibilité du temps : la permutation de t et $t - 1$ ne modifie pas la fonction-objectif.

Cependant, le second problème mentionné à la section 3 (singularité de la fonction-objectif) ne doit pas être considéré. L'une des conséquences, les valeurs étalonnées négatives, peut être évitée en imposant une borne inférieure nulle aux valeurs étalonnées. Cela peut se faire par une technique bien établie qui consiste à inclure des contraintes d'inégalité dans un problème d'optimisation (par exemple, Nosedal et Wright, 2006). Les autres problèmes associés à la singularité peuvent néanmoins encore se produire.

4.2 Préservation logarithmique des taux de croissance

Une autre variante « temporellement symétrique » de la méthode PTC est donnée par la forme logarithmique :

$$f_L^{\text{PTC}}(\mathbf{x}) = \sum_{t=2}^n \left[\log\left(\frac{x_t}{x_{t-1}}\right) - \log\left(\frac{p_t}{p_{t-1}}\right) \right]^2. \quad (4.2)$$

Cette fonction a été considérée pour la première fois par Helfand, Monsour et Trager (1977). Il est immédiatement vérifié que la fonction (4.2) satisfait la propriété d'inversion du temps également. La fonction-objectif peut être considérée comme la version logarithmique de la méthode PTC, aussi bien que la version logarithmique de la méthode PDP de Denton. Elle sera notée PTCL dans la suite de l'exposé, où « L » signifie « logarithmique ».

Notons que (4.2) ne peut être utilisée que pour des valeurs provisoires strictement positives, et qu'elle produit des valeurs étalonnées qui sont plus grandes que zéro également. Cela ne semble pas être une limite importante, puisque nous avons déjà mentionné à la section 3 que la préservation des taux de croissance peut être jugée inappropriée pour les problèmes contenant des valeurs positives et négatives. Néanmoins, une solution possible pour les séries temporelles contenant des valeurs négatives consiste à ajouter une constante suffisamment grande à la série avant l'étalonnage et à soustraire cette constante de la série étalonnée. Un inconvénient éventuel de cette solution est que l'ajout d'une constante fausse les taux de croissance initiaux. Donc, on ne sait pas clairement si les taux de croissance provisoires sont effectivement préservés. Une étude plus approfondie est nécessaire pour mieux comprendre les implications de cette solution.

Même si la méthode PTCL donne nécessairement des valeurs positives, d'autres problèmes associés à une fonction-objectif singulière mentionnés à la section 3.2 peuvent encore se produire.

4.3 Comparaison

Lorsque l'on compare les méthodes PTCS et PTCL, on peut s'attendre à ce que la PTCL se comporte davantage comme la méthode PDP de Denton. Voici deux raisons pour lesquelles il en est ainsi.

Premièrement, en raison des propriétés asymptotiques de la fonction logarithmique, le problème d'évitement des valeurs proches de zéro est moins grave dans le cas de la PTCL que dans celui de la PTCS. Les valeurs proches de zéro sont associées à des ajustements importants des taux de croissance. Les très grands ajustements des taux de croissance sont moins pénalisés dans la PTCL que dans la PTCS, puisque la fonction-objectif de la PTCS croît plus rapidement quand les corrections sont importantes.

Deuxièmement, la linéarisation de Taylor d'ordre un de la fonction-objectif de la PTCL correspond à la fonction de la PDP de Denton, tandis que l'approximation de la PTCS mène à un résultat différent. La linéarisation des termes au carré de la fonction-objectif dans les valeurs provisoires est donnée par $\left(\frac{x_t}{p_t}\right) - \left(\frac{x_{t-1}}{p_{t-1}}\right)$ et $\left(\frac{p_t}{p_{t-1}} + \frac{p_{t-1}}{p_t}\right) \left\{ \left(\frac{x_t}{p_t}\right) - \left(\frac{x_{t-1}}{p_{t-1}}\right) \right\}$ pour la PTCL et la PTCS, respectivement.

4.4 Exemple

Afin d'explorer les propriétés des méthodes PTCL et PTCS, nous reprenons l'exemple de la sous-section 3.3. La figure 4.1 donne la comparaison des méthodes symétriques f_S^{PTC} , f_L^{PTC} et $f^{\text{PDP}}(\mathbf{x})$.

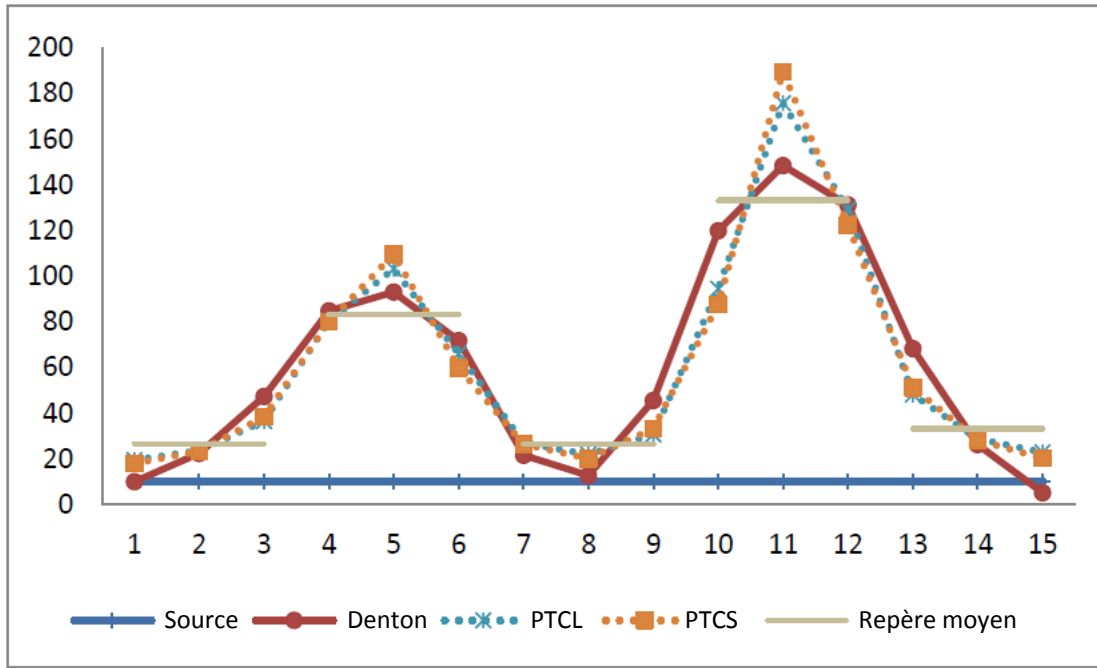


Figure 4.1 Exemple : Résultats de trois méthodes d'étalonnage symétriques. « Repère moyen » désigne le niveau moyen des valeurs mensuelles qui concorde avec les repères trimestriels et qui est calculé comme étant le tiers de son équivalent trimestriel.

Premièrement, on peut constater que les pics et les creux se produisent aux mêmes périodes pour toutes les méthodes temporellement symétriques.

Deuxièmement, certains inconvénients associés à la singularité de la fonction-objectif se produisent encore. Quand on les compare à la méthode PDP de Denton, les méthodes PTC ont tendance à éviter les valeurs proches de zéro, à s'écarter relativement lentement des faibles valeurs (dans les deux directions) et à aboutir à des grands pics irréguliers.

Troisièmement, comme il est mentionné à la sous-section 3.3, la méthode PTCL ressemble davantage à la méthode PDP de Denton que la méthode PTCS, ce qui découle des pics légèrement plus bas de la méthode PTCL.

5 Test empirique

À la présente section, nous effectuons un exercice illustratif sur des données réelles, afin de découvrir si les problèmes mentionnés à la section 3 se produisent dans le cas d'une application pratique réaliste.

5.1 Ensembles de données

L'ensemble de données utilisé pour l'illustration provient des données trimestrielles et annuelles sur le commerce publiées sur le site Web de l'Organisation des Nations Unies (ONU).

La *Commodity Trade Statistics Database* des Nations Unies (UN Comtrade) contient des données transmises par les autorités statistiques des pays déclarants, ou reçues par l'entremise d'organisations partenaires comme l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Les données sur le commerce total des Nations Unies (UN Tottrade) proviennent principalement de la base de données *International Financial Statistics* (IFS), publiée mensuellement par le Fonds monétaire international (FMI). Les différences entre les deux sources sont dues à des différences entre les méthodes de collecte des données et les fins auxquelles les données sont destinées (Nations Unies, 2017). Toutes les données sont mises à la disposition du public à l'adresse <http://comtrade.un.org/>.

Nous utilisons UN Tottrade comme source des données trimestrielles, et UN Tottrade ainsi que UN Comtrade comme sources des données annuelles. Les deux sources de données comprennent les importations et les exportations pour environ 200 États membres de l'ONU.

Pour notre application, nous avons sélectionné toutes les séries qui contiennent trois totaux annuels et 12 valeurs trimestrielles pour la période allant de 2002 à 2004. Les variables d'intérêt sont les importations et les exportations totales. Les séries dont les valeurs trimestrielles ou annuelles étaient inférieures à 0,1 million de dollars ont été supprimées, car les méthodes d'échelle multiplicatives ne peuvent pas être considérées comme appropriées pour les valeurs nulles ou quasi nulles (voir la sous-section 3.2). Puisque les séries sont exprimées en millions de dollars, la valeur seuil exclut uniquement les cas « extrêmes » et retient certains cas réels de problème de singularité.

Nous nous retrouvons ainsi avec 238 séries temporelles pour Comtrade et 253 séries pour Tottrade. L'écart moyen entre les taux de croissance d'une année à l'autre des séries trimestrielles annualisées et de leurs séries annuelles repères est de 5,9 points de pourcentage et 2,7 points de pourcentage pour les repères Comtrade et Tottrade, respectivement. Pour la majorité des séries, l'écart peut être considéré comme étant faible. Le pourcentage de séries pour lesquelles l'écart maximal est inférieur à 5 points de pourcentage est de 79 % et 87 %, respectivement.

5.2 Résultats

Notre premier objectif est d'évaluer la performance globale. Nous comparerons le degré de préservation des valeurs provisoires et leur taux de croissance pour les diverses méthodes discutées dans le présent article.

Le tableau 5.1 montre, pour les cinq méthodes, les valeurs médianes sur toutes les séries, pour les fonctions f_P^{PTC} , f_R^{PTC} , f_S^{PTC} pour la préservation du mouvement prospective, rétrospective et simultanée et f^{Niveau} pour la préservation de la valeur provisoire. La dernière fonction mesure le total des carrés des ajustements relatifs, défini par

$$f^{\text{Niveau}}(\mathbf{x}) := \sum_{t=1}^n \left(\frac{x_t}{p_t} - 1 \right)^2. \quad (5.1)$$

Tableau 5.1
Valeurs médianes des critères dans (2.1), (3.1), (4.1) et (5.1)

	Ensemble de données COM				Ensemble de données TOT			
	f_P^{PTC}	f_R^{PTC}	f_S^{PTC}	f_{Niveau}	f_P^{PTC}	f_R^{PTC}	f_S^{PTC}	f_{Niveau}
PDP de Denton	0,87	0,88	0,88	26,42	0,33	0,41	0,37	2,07
PTCP	0,84	0,98	0,93	26,43	0,27	0,48	0,45	2,06
PTCR	1,00	0,82	0,91	26,47	0,48	0,28	0,45	2,07
PTCS	0,87	0,89	0,88	26,41	0,34	0,38	0,36	2,07
PTCL	0,87	0,88	0,88	26,42	0,33	0,41	0,37	2,07

Les valeurs pour les ensembles de données COM et TOT sont $*10^{-2}$ et $*10^{-5}$, respectivement.

Le tableau 5.1 montre que la méthode PTCP, qui est conçue pour préserver les taux de croissance prospectifs, aboutit à une préservation relativement médiocre du mouvement rétrospectif. L'opposé est également vrai, à savoir que la PTCR ne préserve pas très bien les mouvements prospectifs. Au vu de ces résultats, nous pouvons conclure que la réversibilité du temps importe. Le tableau 5.1 montre aussi que les méthodes temporellement symétriques, c'est-à-dire les méthodes PDP de Denton, PTCS et PTCL, donnent de bons résultats sur toutes les mesures et que les différences entre ces méthodes ne sont que légères.

Pour évaluer la préservation prospective, rétrospective et simultanée des taux de croissance, nous utilisons un critère relatif qui consiste à comparer les valeurs des fonctions-objectif $f_P^{PTC}(\mathbf{x})$, $f_R^{PTC}(\mathbf{x})$ et $f_S^{PTC}(\mathbf{x})$ avec leurs valeurs optimales, qui sont obtenues par les méthodes PTCP, PTCR et PTCS, respectivement. De façon analogue aux normes de référence dans Di Fonzo et Marini (2012), la préservation du mouvement est jugée acceptable si la fonction se situe dans un intervalle de plus ou moins 10 % par rapport à la valeur optimale. Autrement dit, si $f^{\text{méthode}}(\mathbf{x})/f^{\text{optimum}}(\mathbf{x}) \leq 1,1$, où f est l'une des fonctions-objectif mentionnées plus haut.

Pour les cinq méthodes examinées, le tableau 5.2 donne le pourcentage de séries temporelles pour lesquelles la préservation du mouvement prospective, rétrospective ou simultanée est acceptable.

Tableau 5.2
Pourcentage de séries temporelles pour lesquelles la préservation du mouvement est acceptable

	Ensemble de données COM			Ensemble de données TOT		
	Prospective	Rétrospective	Simultanée	Prospective	Rétrospective	Simultanée
PDP de Denton	79,4	78,6	95,8	79,4	79,4	96,0
PTCP	100,0	48,7	81,5	100,0	47,8	82,6
PTCR	47,1	100,0	76,9	44,3	100,0	75,1
PTCS	82,4	77,3	100,0	80,6	79,4	100,0
PTCL	79,8	79,0	96,6	79,4	79,4	96,0

Pour la méthode PDP de Denton, un degré acceptable de préservation simultanée du mouvement est observé dans plus de 95 % des cas. Donc, nous concluons que cette méthode peut être considérée comme

une très bonne approximation pour la méthode PTCS optimale; l'approximation est encore meilleure que dans le cas des méthodes PTCP et PTCR, pour lesquelles des résultats acceptables sont observés dans environ 80 % des cas.

Jusqu'à présent, nous nous sommes concentrés sur la performance pour la série temporelle complète. Nous allons maintenant examiner l'application de grandes ou extrêmement grandes corrections de réconciliation à des valeurs ou taux de croissance individuels.

Pour mesurer les corrections apportées aux taux de croissance, nous utilisons la différence absolue $|g_{it}(\mathbf{x}) - g_{it}(\mathbf{p})| * 100\%$, où g_{it} est un taux de croissance pour la série i et la période t . Les tableaux 5.3 et 5.4 comparent l'existence de grandes ou extrêmement grandes corrections apportées aux taux de croissance prospectifs, rétrospectifs et simultanés.

Tableau 5.3
Pourcentage de grandes corrections des taux de croissance (différence > 10 points de pourcentage)

	Ensemble de données COM			Ensemble de données TOT		
	Prospective	Rétrospective	Simultanée	Prospective	Rétrospective	Simultanée
PDP de Denton	2,0	2,1	1,9	0,8	0,6	0,6
PTCP	1,9	2,4	2,3	0,6	0,9	0,7
PTCR	2,3	1,5	2,0	1,1	0,3	0,8
PTCS	1,9	1,9	1,8	0,8	0,6	0,6
PTCL	2,0	1,9	1,9	0,8	0,6	0,5

Tableau 5.4
Pourcentage de corrections extrêmes des taux de croissance (différence > 50 points de pourcentage)

	Ensemble de données COM			Ensemble de données TOT		
	Prospective	Rétrospective	Simultanée	Prospective	Rétrospective	Simultanée
PDP de Denton	0,3	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1
PTCP	0,2	0,2	0,2	0,0	0,1	0,1
PTCR	0,3	0,0	0,2	0,2	0,0	0,1
PTCS	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1
PTCL	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1

Ces tableaux montrent des différences mineures entre les méthodes.

De petites différences entre les méthodes sont également observées au tableau 5.5, qui présente les grandes ou extrêmement grandes corrections apportées aux valeurs provisoires, telles que mesurées par le critère relatif $(x_{it}/p_{it}) * 100\%$.

Donc, on peut conclure que les problèmes causés par la singularité ne se traduisent pas par une fréquence plus élevée des grandes corrections.

Tableau 5.5
Pourcentage de grandes corrections apportées aux valeurs provisoires

	Ensemble de données COM			Ensemble de données TOT		
	Grandes (> 10 %)	Extrêmes (> 100 %)	Négatives (< 0 %)	Grandes (> 10 %)	Extrêmes (> 100 %)	Négatives (< 0 %)
PDP de Denton	13,2	1,0	0,0	5,8	0,4	0,0
PTCP	13,0	1,0	0,0	5,8	0,3	0,1
PTCR	13,1	0,9	0,0	5,6	0,3	0,0
PTCS	13,1	0,9	0,0	5,8	0,4	0,0
PTCL	13,0	0,9	0,0	5,8	0,4	0,0

L'élément le plus remarquable dans le tableau 5.5 est l'existence de valeurs étalonnées négatives pour la méthode PTCP dans les données TOT. Un exemple de cette situation est donné à la figure 5.3.

Malgré la similarité des résultats des cinq méthodes d'étalonnage dans les tableaux 5.3 à 5.5, il existe des différences nettes à savoir à quel point les corrections de réconciliation sont lisses ou pas. Pour le démontrer, nous utiliserons l'indicateur de lissage (Temurshoev, 2012).

$$\text{Lissage} = \sum_{t=2}^{n-2} [\text{BI}_t - \overline{\text{BI}}_t]^2, \quad (5.2)$$

où BI_t est ce qu'il est convenu d'appeler le ratio série étalonnée/indicateur (BI pour *Benchmarked to Indicator*), c'est-à-dire x_t / p_t et $\overline{\text{BI}}_t$ est la moyenne mobile de 5 termes $\frac{1}{5} \sum_{k=t-2}^{k=t+2} \text{BI}_k$.

Selon cet indicateur, nous constatons au tableau 5.6 que les résultats les plus lisses sont donnés par les méthodes PDP de Denton et PTCL. Inversement, les méthodes asymétriques PTCP et PTCR produisent les corrections les plus irrégulières. Il s'ensuit que les méthodes temporellement symétriques PTCS, mais encore davantage PTCL, souffrent moins de la singularité que les méthodes asymétriques PTCP et PTCR. Ces résultats illustrent clairement les problèmes associés à la singularité de la fonction-objectif de la méthode PTC qui ont été décrits à la sous-section 3.2.

Tableau 5.6
Valeurs de l'indicateur de lissage (5.2), sommées sur toutes les séries

	Ensemble de données COM	Ensemble de données TOT
PDP de Denton	3,4	0,3
PTCP	9,8	39,0
PTCR	8,2	2,9
PTCS	4,3	1,1
PTCL	3,3	0,5

5.3 Exemples

Nous donnons ci-après deux exemples pour montrer que les problèmes décrits à la section 3 se manifestent dans une application réelle.

Le premier exemple, dans les figures 5.1 et 5.2, illustre que les méthodes PTC non symétriques peuvent modifier le moment où se produisent les événements économiques les plus importants. Si nous considérons les neuf premiers trimestres, les deux valeurs les plus élevées se produisent à des périodes différentes. Les périodes de pic pour la PTCP sont les 6^e et 7^e trimestres et celles pour la PTCR sont les 5^e et 6^e trimestres.

Étroitement associé à cela est le fait que la PTCP s'écarte relativement lentement des valeurs proches de zéro du 1^{er} au 4^e trimestre.

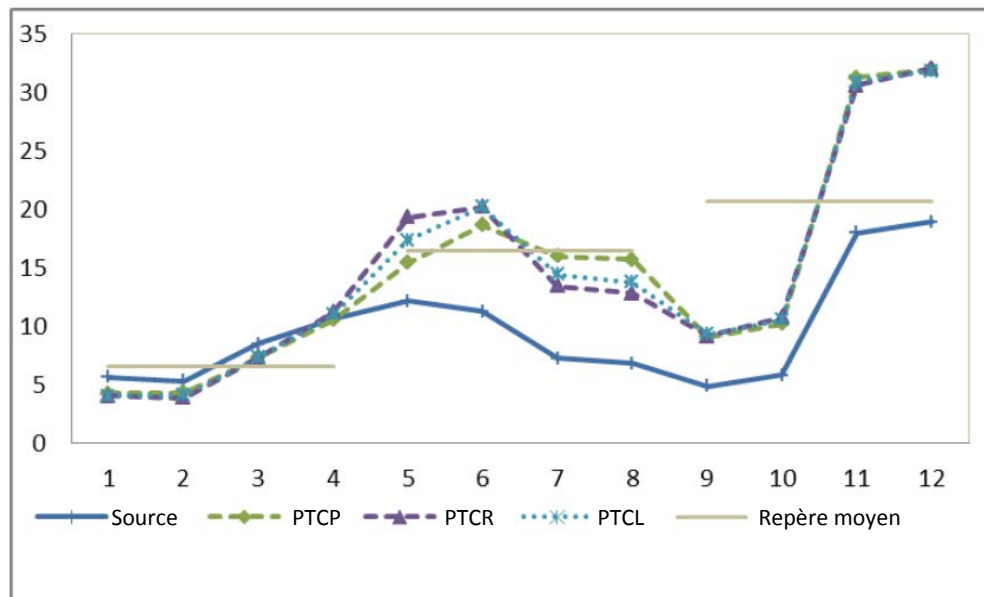


Figure 5.1 Exportations du Burundi, Comdata, 2002 à 2004, millions de dollars US. « Repère moyen » désigne le niveau moyen des données trimestrielles qui concorde avec les repères annuels et qui est calculé comme étant le quart de son équivalent annuel.

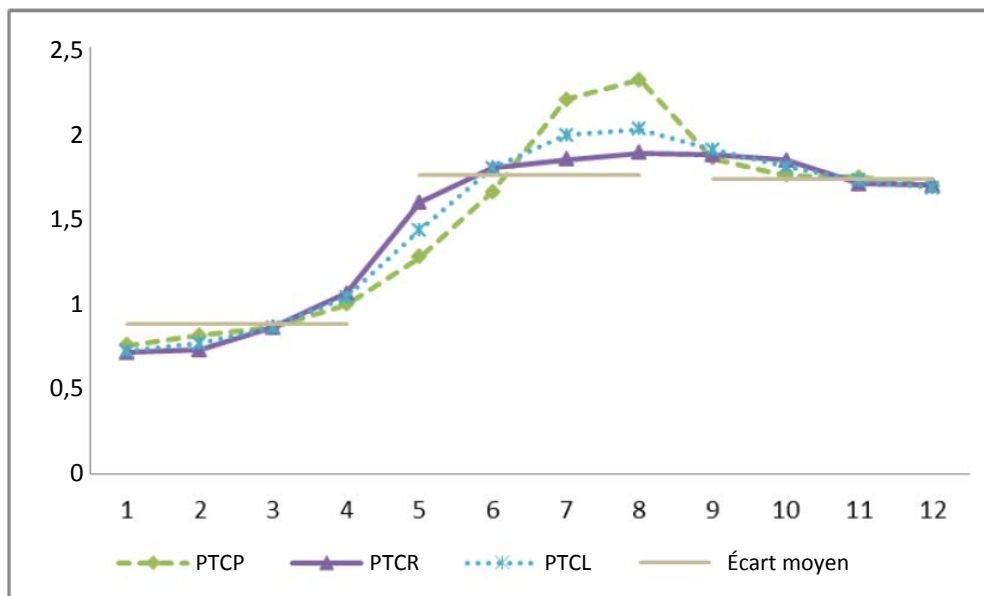


Figure 5.2 Ratios série étalonnée/indicateur, exportations du Burundi, 2002 à 2004. « Écart moyen » désigne le ratio BI annuel, c'est-à-dire le ratio d'un repère annuel et de la somme des indicateurs trimestriels sous-jacents.

Le deuxième exemple illustre les complications dues à une fonction-objectif singulière. Comme le montre la figure 5.4, la méthode PTCP préserve étroitement les taux de croissance du 6^e au 10^e trimestre. Cela a cependant pour prix un pic irrégulier au 5^e trimestre et des valeurs étalonnées négatives aux 11^e et 12^e trimestres.

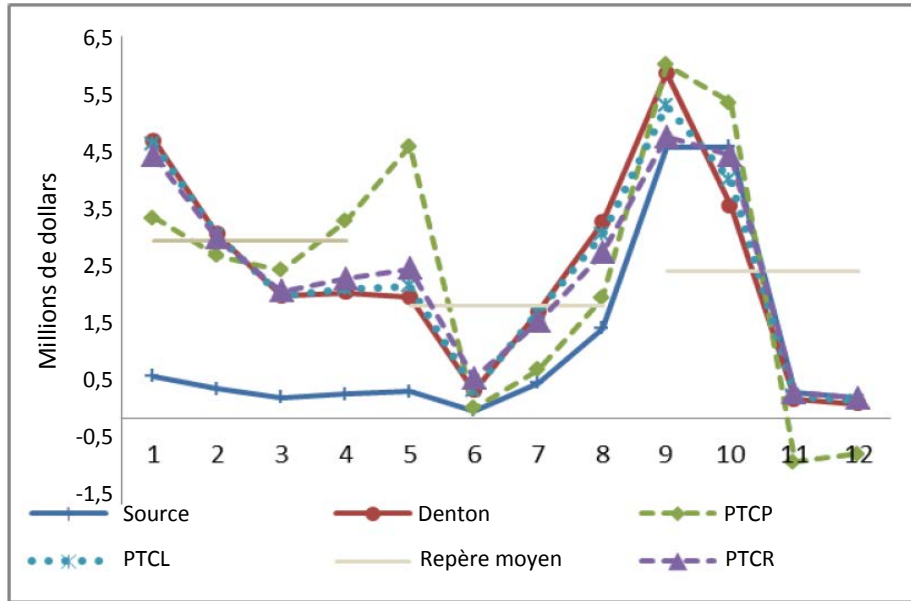


Figure 5.3 Exports de la Gambie, Totdata, 2002 à 2004, millions de dollars US. « Repère moyen » désigne le niveau moyen des données trimestrielles qui concorde avec les repères annuels et qui est calculé comme étant le quart de son équivalent annuel.

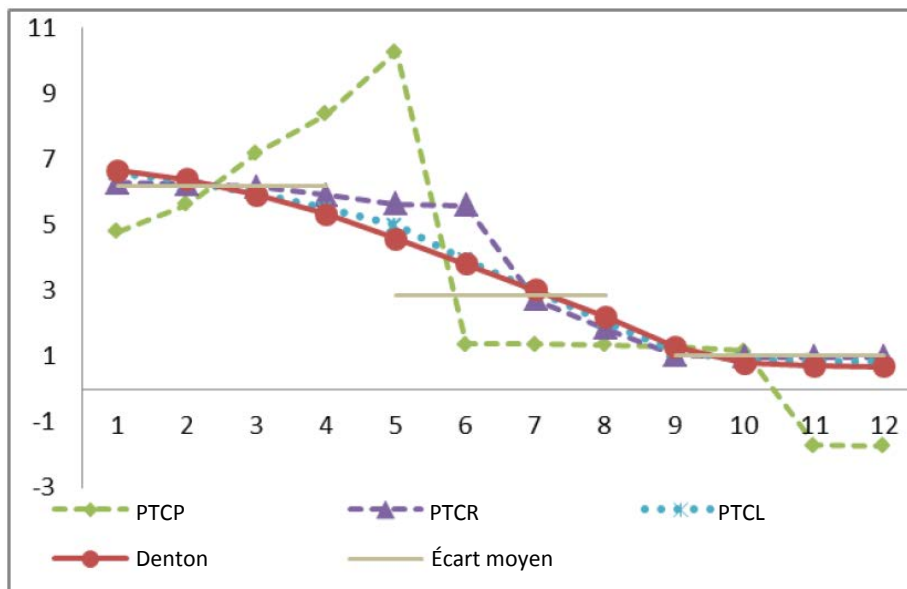


Figure 5.4 Exports de la Gambie, Totdata, 2002 à 2004, ratio série étalonnée/indicateur. « Écart moyen » désigne le ratio BI annuel, c'est-à-dire le ratio d'un repère annuel et de la somme des indicateurs trimestriels sous-jacents.

6 Conclusion

La méthode des premières différences proportionnelles (PDP) de Denton et la méthode de préservation des taux de croissance (PTC) sont deux méthodes d'étalonnage multiplicatives bien connues. Il est généralement reconnu que la méthode PTC possède le fondement théorique le plus solide. Cette méthode préserve mieux les taux de croissance initiaux que la méthode PDP de Denton. Cependant, d'un point de vue technique, la méthode la plus facile à appliquer est celle de Denton. Pour cette raison, et parce qu'elle est souvent une bonne approximation de la méthode PTC, la méthode PDP de Denton est d'usage plus répandu.

Le présent article montre que la méthode PTC présente deux inconvénients qui, autant que le sachent les auteurs, n'ont pas été mentionnés ailleurs.

Le premier inconvénient est que la méthode PTC ne satisfait pas le principe de réversibilité du temps. Selon ce principe, le fait que l'on procède à la préservation des taux de croissance prospectifs ou rétrospectifs ne devrait pas avoir d'incidence sur les résultats. Autrement dit, l'étalonnage d'une série temporelle originale, $t = 1, \dots, n$, ou d'une série temporelle « inversée », $t = n, \dots, 1$ devrait aboutir à la même série étalonnée. Puisque, dans toute application d'étalonnage, la direction du temps est sans pertinence, toute méthode d'étalonnage devrait de préférence satisfaire au principe de réversibilité du temps. De surcroît, une méthode d'étalonnage qui ne satisfait pas à ce principe peut, selon la direction temporelle choisie, donner des conclusions entièrement différentes quant aux moments des événements économiques. Pour ces raisons, il est préférable de décourager l'usage des méthodes PTC prospective et rétrospective.

Dans le présent article, deux méthodes PTC de rechange qui satisfont le principe de réversibilité du temps sont présentées. La première, qui est une nouvelle méthode appelée PTC simultanée ou PTCS, préserve les taux de croissance prospectifs ainsi que rétrospectifs. L'autre, qui est une méthode existante appelée PTC logarithmique ou PTCL, préserve les logarithmes des taux de croissance prospectifs.

Un deuxième inconvénient de toutes les méthodes PTC examinées dans le présent article est la singularité de leurs fonctions-objectif. Les complications qui en découlent sont l'évitement des résultats proches de zéro, ainsi que la présence de pics irréguliers dans les résultats et de valeurs négatives non nécessaires dans les résultats étalonnés.

Ces problèmes se manifestent effectivement dans une application illustrative à des données réelles. Même si des valeurs négatives non nécessaires ne se produisent qu'occasionnellement, les corrections de réconciliation sont beaucoup plus irrégulières que dans le cas de la méthode PDP de Denton. Puisque le caractère lisse des corrections de réconciliation (ratios BI) est souvent le principal objet de l'étalonnage, l'usage des méthodes PTC asymétriques peut être déconseillé pour de nombreuses applications.

Tandis que la méthode PDP de Denton est considérée dans la littérature comme une « bonne approximation » de la méthode PTC idéale, notre principale conclusion est que la méthode PDP de Denton est même plus appropriée que la méthode PTC classique pour de nombreuses applications. La méthode de Denton comprend des calculs plus faciles, et ne souffre pas de problèmes liés à l'irréversibilité du temps et à une fonction-objectif singulière. En outre, les résultats de la méthode PDP de Denton sont une approximation encore meilleure pour les variantes temporellement symétriques de la PTC que pour la PTC classique.

Cependant, si la préservation des taux de croissance est le principal point d'intérêt, une version temporellement symétrique de la méthode PTC peut également être un bon choix, en particulier la PTCL. Les méthodes temporellement symétriques préservent un peu mieux les taux de croissance que la méthode PDP de Denton, satisfont le principe de réversibilité du temps et souffrent moins gravement des inconvénients d'une fonction-objectif singulière que la PTC classique.

Remerciements

Les auteurs remercient trois examinateurs et le rédacteur associé de leurs commentaires utiles qui leur ont permis d'améliorer considérablement l'article.

Bibliographie

- Bikker, R.P., Daalmans, J.A. et Mushkudiani, N. (2013). Benchmarking large accounting frameworks: A generalized multivariate model. *Economic Systems Research*, 25, 390-408.
- Bloem, A., Dippelsman, R. et Maehle, N. (2001). Quarterly National Accounts Manual. Concepts, Data Sources, and Compilation, International Monetary Fund, Washington DC.
- Boot, J.C.G., Feibes, W. et Lisman, J.H.C. (1967). Further methods of derivation of quarterly figures from annual data. *Applied Statistics*, 16, 65-75.
- Bozik, J.E., et Otto, M.C. (1988). Benchmarking: Evaluating methods that preserve month-to-month changes. Bureau of the Census - Statistical Research Division, RR-88/07, accessible au <http://www.census.gov/srd/papers/pdf/rr88-07.pdf>.
- Causey, B., et Trager, M.L. (1981). Derivation of Solution to the Benchmarking Problem: Trend Revision. Notes de recherche non publiées, U.S. Census Bureau, Washington D.C. Disponible en annexe dans Bozik et Otto (1988).
- Cholette, P.A. (1984). L'ajustement des séries infra-annuelles aux repères annuels. *Techniques d'enquête*, 10, 1, 39-53. Article accessible à l'adresse <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/12-001-x/1984001/article/14348-fra.pdf>.
- Daalmans, J.A., et Di Fonzo, T. (2014). Denton PFD and GRP benchmarking are friends. An empirical evaluation on Dutch Supply and Use Tables. Document présenté à la conférence de l'IIOA, Lisboa 14 au 18 juillet.
- Dagum, E.B., et Cholette, P. (2006). *Benchmarking, Temporal Distribution and Reconciliation Methods for Time Series Data*. New York: Springer-Verlag.
- Denton, F. (1971). Adjustment of monthly or quarterly series to annual totals: An approach based on quadratic minimization. *Journal of the American Statistical Association*, 66, 99-102.
- Di Fonzo, T., et Marini, M. (2011). Simultaneous and two-step reconciliation of systems of time series: Methodological and practical issues. *Journal of the Royal Statistical Society C*, 60, 143-164.

- Di Fonzo, T., et Marini, M. (2012). Benchmarking time series according to a growth rates preservation principle. *Journal of Economic and Social Measurement*, 37, 225-252.
- Di Fonzo, T., et Marini, M. (2015). Reconciliation of systems of time series according to a growth rates preservation principle. *Statistical Methods & Applications*, 24, 651-669.
- Eurostat (2013). *Handbook on Quarterly National Accounts – 2013 Edition*. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-GQ-13-004>.
- Fisher, I. (1922). *The Making of Index Numbers*, Houghton-Mifflin, Boston.
- Harvill Hood, C.C. (2005). An empirical comparison of methods for benchmarking seasonally adjusted series to annual totals. Document présenté à l'Atelier the Frontiers in Benchmarking Techniques and their Applications to Official Statistics, Luxembourg, 7 au 8 avril 2005.
- Helfand, S.D., Monsour, N.J. et Trager, M.L. (1977). Historical Revision of Current Business Survey Estimates. *Proceedings of the Business and Economic Statistics Section*, American Statistical Association, 246-250.
- Monsour, N.J., et Trager, M.L. (1979). Revision and benchmarking of business time series. *Proceedings of the Business and Economic Statistics Section*, American Statistical Association, 333-337.
- Nations Unies (2017). *2016 International Trade Statistics Yearbook. Volume I Trade by Countries*. New York: Nations Unies. <https://comtrade.un.org/pb/downloads/2016/ITSY2016VolI.pdf>.
- Nocedal, J., et Wright, S. (2006). *Numerical Optimization, 2nd Edition*. New York: Springer.
- Temurshoev, U. (2012). *Entropy-Based Benchmarking Methods*. University of Groningen. <http://www.ggdc.net/publications/memorandum/gd122.pdf>.
- Titova, N., Findley, D. et Monsell, B.C. (2010). Comparing the Causey-Trager method to the multiplicative Cholette-Dagum regression-based method of benchmarking sub-annual data to annual benchmarks. *Joint Statistical Meetings Proceedings, Business and Economic Statistics Section*, 3007-3021.
- Trager, M.L. (1982). Derivation of Solution to the Benchmarking Problem: Relative Revision. Notes de recherche non-publiées, U.S. Census Bureau, Washington D.C. Disponible en annexe dans Bozik et Otto (1988).