

L'exactitude des combinaisons de prévisions à court terme

Eleonora Granziera, Corinne Luu et Pierre St-Amant, Analyses de l'économie canadienne

- Dans le présent article, nous évaluons si, et dans quelles conditions, la combinaison de prévisions du produit intérieur brut réel issues de différents modèles permet d'améliorer le pouvoir prédictif. Nous examinons également quelles méthodes de combinaison de modèles donnent les meilleurs résultats.
- Conformément aux travaux antérieurs, nous concluons que les prévisions établies au moyen de modèles combinés sont habituellement plus précises que celles obtenues à l'aide de divers modèles de référence pris individuellement.
- À l'encontre des données de plusieurs études, nous avons néanmoins constaté que l'attribution d'un même poids à tous les modèles ne constitue pas toujours la méthode optimale. Le choix de pondérations non uniformes, déterminées en fonction de la qualité des prévisions passées des modèles, a généralement pour effet d'accroître le pouvoir prédictif lorsque les prévisions diffèrent sensiblement d'un modèle à l'autre.

Aux fins de la conduite de la politique monétaire, les banques centrales doivent régulièrement évaluer l'état actuel et futur de l'économie. Pour ce faire, elles s'appuient à la fois sur l'opinion de spécialistes et sur les résultats de plusieurs modèles, aucun modèle ne pouvant à lui seul fournir les meilleures prévisions dans toutes les circonstances et à tous les horizons. Par exemple, certains modèles donnent de bonnes prévisions pour le trimestre en cours, et d'autres seulement pour le trimestre à venir ou celui d'après. Par ailleurs, à cause des flux de nouvelles données, des changements structurels de l'économie et de l'apparition de nouvelles techniques de modélisation, l'utilité relative de chacun des modèles a tendance à varier au fil du temps. C'est pourquoi les économistes de la Banque du Canada revoient périodiquement l'ensemble de modèles sur lesquels reposent leurs analyses conjoncturelles et leurs prévisions à court terme.

En raison de la qualité prédictive incertaine de chacun des modèles, des chercheurs ont proposé une stratégie de diversification consistant à agréger les prévisions issues de différents modèles. Il se peut en effet qu'une telle

stratégie permette d'obtenir des prévisions moins vulnérables aux ruptures structurelles et de réduire le risque que les décisions se fondent sur les résultats de modèles ayant un piètre pouvoir prédictif. De nombreuses recherches ont de fait aussi démontré que les prévisions générées au moyen de modèles combinés sont plus précises et plus solides que celles formulées à partir d'un seul modèle (Stock et Watson, 2004).

Dans le présent article, nous exposons les principales conclusions d'un projet de recherche récent dont le but était d'évaluer s'il est possible d'améliorer l'exactitude et la robustesse des prévisions à l'aide de diverses combinaisons de modèles. Ce projet portait sur les modèles qu'utilisait la Banque pour formuler ses prévisions au sujet de l'évolution du produit intérieur brut (PIB) réel du Canada, que celles-ci concernent le trimestre précédent (avant que les données de ce trimestre soient publiées par Statistique Canada), le trimestre en cours ou un horizon peu éloigné (habituellement un ou deux trimestres)¹. Nous décrivons d'abord brièvement ces modèles, puis nous expliquerons de quelle manière ils ont été estimés et comment les prévisions ont été établies. Nous présenterons enfin les méthodes de combinaison de prévisions et les résultats de celles-ci.

Modèles : descriptions et prévisions

Dans notre évaluation des avantages d'une approche combinatoire, nous nous concentrons sur un ensemble de modèles simples ainsi que sur des outils plus complexes que la Banque a utilisés pour prédire la croissance trimestrielle du PIB réel du Canada (mesuré aux prix du marché, à partir des comptes nationaux des revenus et dépenses publiés par Statistique Canada). Certains des modèles de notre échantillon sont conçus pour prévoir la croissance trimestrielle du PIB réel à très court terme, tandis que d'autres produisent des prévisions plus précises à des horizons plus éloignés, soit jusqu'à quatre trimestres après la dernière parution des données relatives au PIB réel (**Tableau 1**). Les prévisions générées par chacun de ces outils sont combinées en une prévision de la croissance trimestrielle annualisée du PIB réel à court terme (soit pour les deux trimestres suivant la publication par Statistique Canada des derniers chiffres trimestriels du PIB réel) ainsi qu'à des horizons un peu plus lointains (soit de trois à quatre trimestres après la sortie des statistiques les plus récentes).

Pour évaluer et combiner les prévisions produites par les divers modèles, nous devons générer celles-ci d'une manière similaire à celle employée dans la pratique pour prévoir la croissance du PIB réel. La cuvée de données² du deuxième trimestre de 2011 des comptes nationaux a été utilisée pour toutes les estimations (en dépit du fait que l'échantillon augmente au fil du temps); il convient de noter que le début de la période d'estimation varie d'un modèle à l'autre. À des moments prédéterminés, des prévisions sont formulées à un horizon allant jusqu'à quatre trimestres après la plus récente publication des données trimestrielles sur le PIB réel (**Encadré 1**). Les premières prévisions ont lieu dix mois et demi avant la parution des chiffres du PIB réel pour le trimestre visé. Onze prévisions sont générées au total : une durant la semaine qui précède la première date d'annonce préétablie de chaque trimestre et deux autres immédiatement avant et

¹ Bien que la Banque ait encore recours à quelques-uns de ces modèles, elle a abandonné certains d'entre eux et en a ajouté d'autres.

² Une cuvée est l'estimation la plus récente, disponible à un moment précis, de tous les points constitutifs d'une série donnée.

Tableau 1 : Modèles relatifs au PIB réel utilisés dans les combinaisons de prévisions

Nom	Type de modèle	Horizon de prévision ^a	Variables
Modèle espace d'états de prévision pour la période en cours	Modèle factoriel	De un à deux trimestres	Données financières hebdomadaires et données mensuelles (total des heures travaillées, PIB réel mensuel, mises en chantier de logements, etc.)
Modèle BVAR	Modèle vectoriel autorégressif bayésien	De un à quatre trimestres	Variables macroéconomiques canadiennes et américaines clés (croissance du PIB réel des États-Unis, inflation fondamentale, taux d'intérêt, etc.)
Modèle d'agrégation des prévisions régionales	Modèle regroupant les prévisions de modèles portant sur chacune des régions du Canada	De un à deux trimestres	Indicateurs provinciaux (comptes économiques provinciaux, ventes des fabricants, emploi, ventes au détail, etc.)
Modèle d'étalonnage des variables de l'offre	Modèle linéaire univarié	De un à deux trimestres	Commerce de gros, mises en chantier de logements, taux d'intérêt, ventes au détail aux États-Unis et consommation des ménages américains
Modèles de courbe IS (au nombre de 2)	Modèles linéaires univariés	De un à quatre trimestres	Production mondiale, taux d'intérêt, taux de change et prix des produits de base. Un des modèles inclut la confiance des consommateurs.
Modèle de courbe de rendement	Modèle linéaire univarié	De un à quatre trimestres	Courbe de rendement décalée (écart entre le taux du financement à un jour et le taux des obligations à dix ans du gouvernement du Canada)
Modèle fondé sur l'indicateur composite avancé du Canada^b	Modèle linéaire univarié	De un à deux trimestres	L'indicateur composite avancé de l'activité réelle englobe plusieurs indicateurs du PIB réel (indice du logement, masse monétaire [M1], indice boursier TSE 300, indicateur avancé du Conference Board pour les États-Unis, etc.)
Modèle d'heures travaillées	Modèle linéaire univarié	De un à quatre trimestres	Modèle basé sur la croissance du total des heures travaillées
Modèle autorégressif à retards échelonnés	Modèle linéaire univarié	De un à quatre trimestres	Variables financières, indicateur composite avancé, crédits aux entreprises, emploi et croissance du PIB réel des États-Unis
Modèle de la masse monétaire au sens étroit	Modèle linéaire univarié	De un à deux trimestres	Masse monétaire (M1+)

a. Après la sortie des plus récentes statistiques sur la croissance du PIB réel

b. Depuis la réalisation de notre projet de recherche, Statistique Canada a cessé de publier l'indicateur composite avancé; par conséquent, nous avons modifié ce modèle afin d'y incorporer une mesure de l'activité différente, quoique similaire.

après la publication des données des comptes nationaux³. Les prévisions se fondent sur les renseignements qui étaient alors disponibles sur le PIB réel trimestriel et sur les variables de fréquence mensuelle ou hebdomadaire retenues dans les modèles (les données ayant servi à l'estimation initiale des modèles s'arrêtent en 1999). Lorsque les chiffres d'un nouveau trimestre sont publiés, nous estimons de nouveau les modèles et répétons le cycle de prévisions, et ce, jusqu'en 2011. Nous évaluons ensuite les modèles en comparant les prévisions qui en ont été tirées avec la croissance trimestrielle effective du PIB réel (d'après la cuvée du deuxième trimestre de 2011). Les données faisant généralement l'objet de révisions au fil des ans, ce dont le présent exercice ne tient pas compte, les résultats doivent être considérés comme un indicateur de l'exactitude en temps réel des prévisions et donc être interprétés avec prudence.

³ Le nombre des prévisions est inférieur à onze dans le cas de certains modèles qui ne permettent de produire que des prévisions à très court terme, soit à un horizon allant de un à deux trimestres après la plus récente publication des chiffres du PIB (Tableau 1).

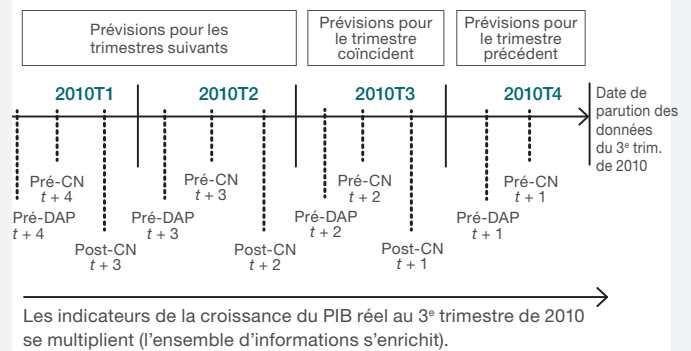
Encadré 1

Chronologie du cycle des prévisions relatives au PIB réel

Afin d'illustrer la chronologie du cycle de prévisions, nous avons indiqué, à la **Figure 1-A**, les dates d'établissement des prévisions de la croissance du PIB réel pour le troisième trimestre de 2010. La première prévision (pré-DAP $t + 4$) a été réalisée en janvier 2010. Étant donné les délais de publication des comptes nationaux (CN), les plus récents chiffres du PIB réel disponibles ce mois-là étaient ceux du troisième trimestre de 2009, d'où l'horizon prévisionnel de quatre trimestres ($t + 4$). La prévision de janvier 2010 coïncidait avec une importante séance d'information tenue par le personnel de la Banque à l'intention de la Haute Direction à l'approche de la date d'annonce préétablie de janvier pour le taux directeur. La prévision suivante s'est déroulée immédiatement avant la parution des chiffres du quatrième trimestre de 2009 sur le PIB réel (pré-CN $t + 4$). Comme cette deuxième prévision tombait à la fin de février, l'horizon prévisionnel était toujours de quatre trimestres. Bien qu'aucune nouvelle information au sujet du PIB réel trimestriel n'ait été publiée entre les prévisions de janvier et de février, de nouvelles données hebdomadaires ou mensuelles étaient disponibles. Les prévisions obtenues pour le troisième trimestre de 2010 pourraient donc varier entre les modèles.

Après la parution des chiffres du quatrième trimestre de 2009 sur le PIB réel, la période d'estimation des modèles a été allongée afin de tenir compte des nouvelles données, et une nouvelle prévision a été générée pour le troisième trimestre de 2010 (post-CN $t + 3$, ce qui équivaut à un horizon prévisionnel de trois trimestres). Cette procédure a été répétée jusqu'à ce que les données du troisième trimestre de 2010 sur le PIB réel soient publiées en novembre.

Figure 1-A : Chronologie des prévisions de la croissance du PIB réel au troisième trimestre de 2010^a



Pré-DAP : prévisions produites environ une semaine avant la première date d'annonce préétablie de chaque trimestre

Pré-CN : prévisions qui précèdent immédiatement la publication des chiffres des comptes nationaux (CN) sur le PIB réel

Post-CN : prévisions qui suivent immédiatement la publication des chiffres des comptes nationaux sur le PIB réel

a. Il s'agit là de la chronologie des prévisions retenue dans le cadre de notre projet de recherche. Dans la réalité, la Banque aurait commencé beaucoup plus tôt à faire des prévisions pour ce trimestre au moyen d'autres méthodes de modélisation; le trimestre en question aurait en effet été englobé dans la période visée par les projections à long terme élaborées au moyen de TOTEM (pour Terms-of-Trade Economic Model). Pour obtenir des précisions, voir le texte de Coletti et Kozicki, à la page 1 de la présente livraison.

Au total, onze prévisions, y compris celles qui précédaient la première date d'annonce préétablie, ont été réalisées pour chaque trimestre, à des horizons s'échelonnant de un à quatre trimestres.

Les combinaisons de prévisions

L'objectif premier de l'exercice de combinaison de prévisions est de déterminer si, et dans quelles conditions, on peut obtenir une qualité prédictive supérieure à celle de modèles isolés pris pour référence. Un second objectif consiste à établir si la qualité prédictive relative des méthodes de combinaison varie en fonction de l'horizon de prévision.

Pour évaluer la précision des prévisions de chacun des modèles et des prévisions combinées, nous recourons à la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne de prévision (REQMP), laquelle mesure la différence entre ces prévisions et les valeurs réalisées. Plus la REQMP est petite, plus le pouvoir prédictif est grand ou, autrement dit, plus les prévisions du modèle sont exactes.

La combinaison de prévisions implique l'attribution d'un poids à chaque modèle. La façon dont ces poids sont fixés peut influencer sur l'exactitude des prévisions combinées. Des procédés de combinaison plus ou moins sophistiqués ont été élaborés, allant de la moyenne arithmétique simple jusqu'à des méthodes complexes dans lesquelles les pondérations

varient dans le temps⁴. Les méthodes le plus souvent proposées dans la littérature, qui se différencient par l'importance accordée à la qualité des prévisions passées des modèles, sont examinées dans le présent article. L'Encadré 2 en donne une description technique.

La **méthode de la moyenne simple (MS)**, qui consiste à attribuer un poids égal à toutes les prévisions, présente un avantage important en ce que les coefficients n'ont pas à être estimés statistiquement puisqu'ils dépendent uniquement du nombre de modèles. Diverses études font état de la supériorité de la MS par rapport à des méthodes de pondération plus élaborées, du moins quand les prévisions portent sur la période suivant le trimestre coïncident (Stock et Watson, 1999 et 2004, par exemple). L'imprécision des méthodes statistiques lorsque les poids sont estimés à partir de petits échantillons de données est citée comme étant la cause de ce phénomène. Or on peut démontrer théoriquement que la MS est la méthode optimale si les modèles formant la combinaison ont tous le même pouvoir prédictif (mesuré par la REQMP) et si les corrélations entre les prévisions des modèles pris deux à deux sont identiques⁵ (Smith et Wallis, 2009). On comprend donc intuitivement que, lorsque ces conditions sont réunies, la prise en compte de la qualité des prévisions passées et des corrélations entre les prévisions des différents modèles ne suffit pas à compenser l'élément d'imprécision introduit par l'estimation des coefficients de pondération.

Selon d'autres méthodes de combinaison de prévisions, l'attribution de poids aux modèles s'effectue en fonction de leur pouvoir prédictif passé. Dans le cas de la méthode **REQMP-inverse (REQMP-I)**, des poids plus importants sont affectés aux modèles dont les prévisions en échantillon sont plus précises. Quant à la méthode **Rang-inverse (Rang-I)**, elle assigne à chaque modèle une pondération inversement proportionnelle au rang qu'il occupe parmi les modèles classés selon leur pouvoir prédictif sur la période de prévision. Ce type de méthode ne nécessite pas d'estimer les corrélations entre les prévisions des modèles individuels et donne aussi de bons résultats dans la pratique. À titre d'exemple, signalons qu'une étude récente de la Banque de Norvège (Bjørnland et autres, 2012) conclut à la supériorité de la REQMP-I sur la moyenne simple.

Enfin, la **méthode fondée sur l'estimation des poids par les moindres carrés ordinaires** prend en compte non seulement la précision des prévisions passées des modèles, mais aussi la corrélation entre les prévisions des différents modèles. Les poids attribués aux composants de la combinaison selon cette méthode tendent à être plus importants pour les prévisions qui sont à la fois les plus exactes et les moins corrélées aux autres. Bien que cette méthode permette en théorie d'estimer les valeurs optimales des coefficients de pondération (Timmermann, 2006), ceux-ci peuvent quand même être entachés d'un biais, surtout si la taille de l'échantillon est petite⁶. Nous nous intéressons à trois variantes de cette méthode : dans la première, aucune contrainte n'est appliquée aux poids (MCO); dans la deuxième, la somme des coefficients de pondération est égale à un, et ceux-ci peuvent prendre des valeurs négatives (MCO_n); enfin, dans la troisième, la somme des coefficients de pondération est égale à un et ceux-ci doivent être positifs (MCO_p).

⁴ Timmermann (2006) en fait une revue exhaustive.

⁵ Par exemple, si le coefficient de corrélation entre les prévisions des modèles A et B est égal à 0,7, le coefficient de corrélation entre les prévisions des modèles A et C doit lui aussi être de 0,7, tout comme le coefficient de corrélation entre les prévisions des modèles B et C.

⁶ Lorsque les observations disponibles sont trop peu nombreuses, il se peut que les estimations perdent en précision, c'est-à-dire qu'elles soient entachées d'un biais.

Encadré 2

Méthodes de combinaison de prévisions

La combinaison de prévisions à l'horizon h , notée y_{t+h}^C , est construite à partir de la moyenne pondérée de N prévisions issues de différents modèles :

$$y_{t+h}^C = w^1 y_{t+h}^1 + w^2 y_{t+h}^2 + \dots + w^N y_{t+h}^N,$$

où y_{t+h}^i $i = 1, \dots, N$ est la prévision du modèle i .

Les prévisions établies jusqu'en t entrent dans la détermination des coefficients de pondération. Ceux-ci diffèrent d'une méthode de combinaison à l'autre :

1) Moyenne simple : $w^i = 1/N$

2) REQMP-inverse : $w^i = \frac{REQMP_{i,t+h}^{-1}}{\sum_{j=1}^N REQMP_{j,t+h}^{-1}}$, où $REQMP_{i,t+h} = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{\tau=1}^t (y_{\tau+h} - y_{\tau+h}^i)^2}$

3) Rang-inverse : $w^i = \frac{RANG_{i,t+h}^{-1}}{\sum_{j=1}^N RANG_{j,t+h}^{-1}}$, où $RANG_{i,t+h} = 1$ si la REQMP du modèle i est la plus faible à l'horizon t ;
 $RANG_{i,t+h} = 2$ si la REQMP du modèle i est la plus faible après celle du modèle occupant le premier rang, etc.

4) Moindres carrés ordinaires : les poids correspondent aux coefficients estimés par les moindres carrés au moyen de l'équation suivante : $y_{t+h} = w^1 y_{t+h}^1 + w^2 y_{t+h}^2 + \dots + w^N y_{t+h}^N + \varepsilon_{t+h}$.

La REQMP de chaque combinaison de prévisions pondérées est comparée à celle de trois modèles de référence. Le premier d'entre eux est un modèle autorégressif (AR) simple du taux de croissance trimestriel du PIB réel, où ce taux est prévu uniquement à l'aide de ses valeurs passées. Bien qu'il s'agisse du modèle de référence le plus souvent décrit dans la littérature, il est peu susceptible de produire des prévisions de bonne qualité à des horizons rapprochés du fait qu'il ne s'appuie pas sur les informations à haute fréquence données par les indicateurs mensuels de l'activité économique. Le deuxième est un modèle AR dans lequel la prévision du PIB trimestriel réel aux prix du marché est établie à partir des données mensuelles sur le PIB réel aux prix de base⁷. Le troisième point de comparaison consiste en une stratégie dans laquelle le chercheur sélectionne à chaque période le modèle dont les prévisions ont été les plus précises jusque-là (celui qui a produit la meilleure prévision *ex ante*) et s'en sert comme outil de prévision pour le trimestre suivant.

Résultats

Le Tableau 2 montre la REQMP aux horizons de prévision de un, deux, trois et quatre trimestres pour chacun des modèles de référence et pour la meilleure combinaison de modèles. Les poids attribués aux modèles sont initialement calculés à partir des données allant du quatrième trimestre

⁷ Les prix de base n'incluent pas les taxes sur les produits ni les subventions à la production. Sur la base du trimestre, les deux mesures du PIB réel sont fortement corrélées (coefficient de 0,99 pour la période écoulée depuis 2007). Le modèle de référence produit des prévisions du taux de croissance mensuel du PIB réel aux prix de base à partir des valeurs passées de cette grandeur, puis procède à l'agrégation trimestrielle de ces prévisions mensuelles. La prévision trimestrielle obtenue est utilisée comme prévision du taux de croissance trimestriel du PIB réel aux prix du marché.

de 1999 au premier trimestre de 2005. Le pouvoir prédictif des modèles de référence et des combinaisons est ensuite évalué d'après leurs REQMP sur les trimestres restants de la période étudiée, soit du deuxième trimestre de 2005 au deuxième trimestre de 2011.

On constate que plus l'horizon de prévision est lointain, plus les REQMP augmentent, peu importe le modèle ou la combinaison de modèles. Inversement, les prévisions gagnent en précision à l'approche de la date de publication, car on dispose alors de plus d'information.

On note que les combinaisons de modèles présentent une capacité prédictive nettement améliorée par rapport au modèle AR quel que soit l'horizon considéré, et que plus la date de publication des données approche, plus la supériorité relative de la meilleure combinaison s'accroît.

La comparaison de la meilleure combinaison et du modèle AR reposant sur les chiffres mensuels du PIB réel aux prix de base ne porte que sur les prévisions établies pour le trimestre coïncident et pour le trimestre précédent, trimestres pour lesquels les prévisions obtenues au moyen du modèle AR construit sur données trimestrielles sont les moins précises. Dans l'ensemble, la meilleure combinaison surpasse le modèle AR s'appuyant sur des données mensuelles, et le gain de précision augmente à mesure que l'horizon de prévision s'allonge. Toutefois, lorsque la prévision est réalisée juste avant la publication des comptes nationaux pour le trimestre visé, le modèle de référence reposant sur des données mensuelles relatives au PIB réel présente une REQMP légèrement inférieure à celle de la meilleure combinaison. La raison en est que les chiffres du PIB réel aux prix de base des deux premiers mois du trimestre sont alors connus et que leur agrégation à des données de périodicité trimestrielle permet d'obtenir un indicateur très précis du PIB réel aux prix du marché (voir à ce sujet Binette et Chang à la page 4 de la présente livraison).

Tableau 2 : Racine carrée de l'erreur quadratique moyenne de prévision des modèles de référence et des combinaisons de modèles sur la période considérée (2005T2-2011T2)

Horizon (trimestres)	Moment de la prévision	Modèle de référence			La meilleure combinaison ^a	
		Modèle AR, données trimestrielles	Modèle AR, données mensuelles	Le meilleur <i>ex ante</i>	REQMP	Méthode de combinaison
$t + 4$	Pré-DAP	3,92		3,14	2,89	MS
$t + 4$	Pré-CN	3,92		3,15	2,91	MS
$t + 3$	Post-CN	3,92		2,96	2,75	MS
$t + 3$	Pré-DAP	3,60		2,89	2,62	MS
$t + 3$	Pré-CN	3,60		2,52	2,46	REQMP-I
$t + 2$	Post-CN	3,60		2,38	2,30	RANG-I
$t + 2$	Pré-DAP	2,97	4,73	2,31	2,15	RANG-I, MCOp
$t + 2$	Pré-CN	2,97	3,08	2,12	1,78	REQMP-I
$t + 1$	Post-CN	2,97	1,87	2,19	1,71	MCOp
$t + 1$	Pré-DAP	2,90	1,42	1,29	1,27	REQMP-I, MCOp
$t + 1$	Pré-CN	2,90	0,68	0,73	0,78	REQMP-I

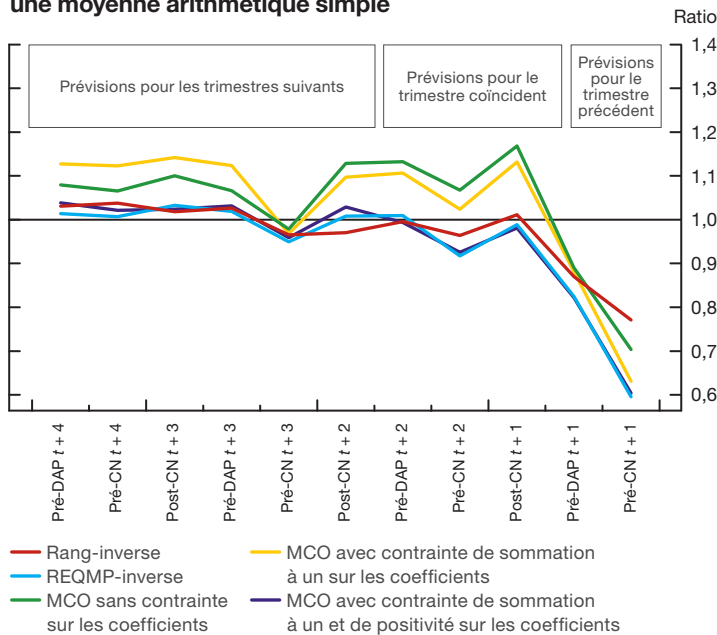
Pré-DAP : prévisions produites environ une semaine avant la première date d'annonce préétablie de chaque trimestre

Pré-CN : prévisions qui précèdent immédiatement la publication des chiffres des comptes nationaux (CN) sur le PIB réel

Post-CN : prévisions qui suivent immédiatement la publication des chiffres des comptes nationaux sur le PIB réel

a. Résultats de la combinaison dont la REQMP est la plus petite à l'horizon considéré

Graphique 1 : Ratio de la REQMP des combinaisons à coefficients de pondération inégaux à celle de la combinaison fondée sur une moyenne arithmétique simple



Pré-DAP : prévisions produites environ une semaine avant la première date d'annonce préétablie de chaque trimestre
Pré-CN : prévisions qui précèdent immédiatement la publication des chiffres des comptes nationaux (CN) sur le PIB réel
Post-CN : prévisions qui suivent immédiatement la publication des chiffres des comptes nationaux sur le PIB réel
 Source : calculs de la Banque du Canada

Il ressort de la comparaison de la REQMP du meilleur modèle *ex ante* avec celle de la meilleure combinaison que le recours à un modèle de prévision en particulier se traduit généralement par une diminution de la précision : il est difficile de déterminer d'avance lequel des modèles produira les prévisions les plus justes tout au long du cycle de prévisions, et en choisissant le modèle qui s'est avéré le meilleur jusque-là, on obtient systématiquement de moins bons résultats qu'avec des modèles employés en combinaison.

Dans les paragraphes suivants, nous allons comparer les méthodes de combinaison fondées sur le pouvoir prédictif à la moyenne simple, d'application aisée et dont l'efficacité est bien mise en évidence dans la littérature. Le **Graphique 1** illustre, pour chacun des horizons de prévision, le rapport entre la REQMP de chaque méthode de combinaison et celle de la moyenne simple. Un nombre supérieur (inférieur) à un indique que la méthode de combinaison est moins (plus) exacte que la méthode de la moyenne simple (MS).

Examinons d'abord les résultats aux horizons plus éloignés. Conformément aux travaux antérieurs, nous constatons que la MS donne généralement de bons résultats aux horizons de prévision plus lointains, mais que l'amélioration de la qualité prédictive apportée par cette méthode comparativement aux autres n'est pas uniforme. Le gain en précision de la MS par rapport à deux des variantes fondées sur les moindres carrés ordinaires est considérable (le ratio de la REQMP de la variante MConp à la REQMP de la moyenne simple atteint 1,14), mais il est plus modeste relativement aux autres méthodes. Ce résultat corrobore les conclusions de précédentes études, à savoir que le biais d'estimation lié à la petite taille de l'échantillon pourrait influencer sur la précision des prévisions

◀ *En choisissant le modèle qui s'est avéré le meilleur jusque-là, on obtient systématiquement de moins bons résultats qu'avec des modèles employés en combinaison.*

obtenues par les méthodes de combinaison qui, comme celle basée sur les MCO, prennent en compte la corrélation des prévisions. Mais ainsi que le montre le **Graphique 1**, ce biais est moins important lorsque l'estimation est soumise à des contraintes — coefficients de pondération supérieurs à zéro et de somme égale à un (MCOp) — ou que des méthodes de combinaison sans estimation des corrélations entre les prévisions (REQMP-I ou Rang-I) sont employées. Parce qu'elles réduisent l'incertitude entourant les estimations des coefficients, ces méthodes de pondération peuvent améliorer la capacité prédictive de la combinaison.

Quand la prévision porte sur le trimestre coïncident ou précédent, les combinaisons issues de l'attribution de poids en fonction du pouvoir prédictif offrent une plus grande précision que celle à poids égaux⁸. L'amélioration est particulièrement notable dans le cas de la prévision pour le trimestre antérieur, comme en témoigne la chute à 0,6 de la REQMP relative de certaines de ces combinaisons (**Graphique 1**). Ainsi que nous l'avons évoqué plus haut, la pondération inégale des modèles offre des avantages substantiels car, à cet horizon, la précision des prévisions diffère beaucoup d'un modèle à l'autre (les REQMP variant de 0,73 à environ 2,79), tout comme les prévisions elles-mêmes de manière générale (la corrélation varie énormément, de 0,2 à 0,87, à l'horizon pré-CN $t + 1$). Par contre, les poids optimaux sont proches de poids d'égale valeur aux horizons plus éloignés, puisque les prévisions des modèles tendent alors vers la moyenne de la croissance du PIB réel et présentent des degrés similaires de corrélation⁹.

En somme, les méthodes de combinaison qui ne prennent pas en compte les corrélations entre les erreurs de prévision, en particulier la REQMP-I, sont les plus robustes sur l'ensemble des horizons étant donné qu'elles sont plus précises que la moyenne simple aux horizons rapprochés et au moins aussi précises qu'elle aux horizons plus lointains.

Conclusion

En combinant les prévisions de plusieurs modèles, on obtient une plus grande capacité prédictive qu'en employant un seul modèle, quel que soit l'horizon de prévision. Aux horizons plus éloignés (trois ou quatre trimestres), la moyenne simple produit des prévisions d'une précision supérieure ou comparable à celle obtenue par des méthodes de pondération plus élaborées, qui prennent en compte la qualité des prévisions passées des modèles. En cela, nos constatations s'inscrivent dans le droit fil de celles des études antérieures.

Toutefois, contrairement à ce qui ressort de la grande majorité des travaux réalisés jusqu'à présent, l'utilisation de poids déterminés d'après le pouvoir prédictif permet d'améliorer considérablement l'exactitude des prévisions aux horizons rapprochés. Il en est ainsi parce que les modèles examinés produisent à ces horizons des prévisions fort contrastées. Les plus précis d'entre eux se voient attribuer un coefficient de pondération plus élevé.

◀ *Quand la prévision porte sur le trimestre coïncident ou précédent, les combinaisons issues de l'attribution de poids en fonction du pouvoir prédictif offrent une plus grande précision que celle à poids égaux.*

◀ *Les méthodes de combinaison qui ne prennent pas en compte les corrélations entre les erreurs de prévision sont les plus robustes sur l'ensemble des horizons.*

⁸ À ces horizons plus rapprochés, la précision accrue obtenue par pondération en fonction du pouvoir prédictif compense largement l'incertitude associée au calcul des coefficients de pondération dans les combinaisons REQMP-I ou Rang-I.

⁹ À l'horizon pré-DAP $t + 4$, par exemple, la différence entre la REQMP la plus petite et la plus grande est de 0,20 et la corrélation entre les prévisions des modèles varie entre 0,87 et 0,99.

La Banque du Canada préconise l'emploi d'un vaste ensemble de modèles dans le cadre d'un dispositif flexible plutôt que le recours à un modèle unique, et nos résultats confirment le bien-fondé de cette approche. Même si la gamme de modèles mise à profit par la Banque évolue, le constat du gain de précision apporté par les combinaisons de prévisions risque fort de résister à l'épreuve du temps.

Une mise en garde s'impose cependant quant à l'interprétation de nos résultats. D'abord, nous n'avons pu rendre compte de l'incidence des révisions de données sur la précision des prévisions, car certains des chiffres en temps réel essentiels à cette analyse n'étaient pas disponibles. En d'autres termes, dans les simulations réalisées à l'aide des modèles, nous avons utilisé la cuvée du deuxième trimestre de 2011 plutôt que les données disponibles au moment où les prévisions ont été établies. Deuxièmement, l'échantillon ayant servi à estimer les modèles et à évaluer les prévisions était de petite taille. La constitution au fil du temps de séries plus longues contribuera à combler cette lacune dans les travaux futurs.

Ouvrages et articles cités

- Binette, A., et J. Chang (2013). « CSI : un modèle de suivi de la croissance à court terme du PIB réel du Canada », *Revue de la Banque du Canada*, été, p. 4-15.
- Bjørnland, H. C., K. Gerdrup, A. S. Jore, C. Smith et L. A. Thorsrud (2012). « Does Forecast Combination Improve Norges Bank Inflation Forecasts? », *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 74, n° 2, p. 163-179.
- Coletti, D., et S. Kozicki (2013). « Introduction : les outils utilisés à la Banque du Canada pour l'analyse de la conjoncture », *Revue de la Banque du Canada*, été, p. 1-3.
- Smith, J., et K. F. Wallis (2009). « A Simple Explanation of the Forecast Combination Puzzle », *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, vol. 71, n° 3, p. 331-355.
- Stock, J. H., et M. W. Watson (1999). « A Comparison of Linear and Nonlinear Univariate Models for Forecasting Macroeconomic Time Series », *Cointegration, Causality, and Forecasting: A Festschrift in Honour of Clive W. J. Granger*, sous la direction de R. F. Engle et H. White, Oxford, Oxford University Press, p. 1-44.
- (2004). « Combination Forecasts of Output Growth in a Seven-Country Data Set », *Journal of Forecasting*, vol. 23, n° 6, p. 405-430.
- Timmermann, A. (2006). « Forecast Combinations », *Handbook of Economic Forecasting*, sous la direction de G. Elliott, C. W. J. Granger et A. Timmermann, Amsterdam, North-Holland, p. 135-196.