

QUALITE ET VALEUR DES PREVISIONS METEOROLOGIQUES ROUTIERES

John Edward Thornes

School of Geography and Environmental Sciences
The University of Birmingham
Birmingham, B15 2TT, United Kingdom
j.e.thornes@bham.ac.uk Téléphone : +44-121-414-5556

1. Résumé

Afin de pouvoir déterminer si un prestataire de services de météorologie routière fournit des services d'un bon rapport qualité/prix, il faut surveiller la qualité des prévisions et l'utilisation de ces prévisions afin d'estimer leur valeur. Un certain nombre de statistiques de vérification sont étudiées pour mesurer la qualité des prévisions, en particulier le taux d'échec, le taux de fausses alertes et l'indice de comparaison de Peirce. Afin d'évaluer la valeur économique des prévisions, nous suggérons un indice de valeur de qualité prenant en compte le rapport coût-perte et les erreurs de prévision. Nous suggérons que les clients des prévisions météorologiques routières utilisent une combinaison de ces statistiques de qualité et de valeur afin de choisir le meilleur fournisseur de prévisions et de fixer des limites pour les contrats avec objectifs de résultats.

2. Introduction

Les utilisateurs de prévisions météorologiques routières travaillent dans un environnement de plus en plus commercial et doivent essayer de prouver que les dépenses qu'ils effectuent possèdent un bon rapport coût-efficacité. La mise en place des appels d'offres obligatoires a peut-être fait diminuer les coûts mais elle ne garantit pas la qualité des prévisions et peut aboutir à l'arrivée de nouveaux acteurs dépourvus de références sur le marché. Une méthode de garantie de satisfaction des clients est constituée par des contrats liés aux résultats. Par exemple, un client peut fixer un objectif pour le pourcentage de prévisions correctes pendant la durée d'un contrat et, si les prévisions sont meilleures que l'objectif, le fournisseur de prévisions reçoit une prime mais, si elles sont en-deçà de l'objectif, le fournisseur de prévisions reçoit moins d'argent, selon une échelle convenue. Prenons un exemple : si l'objectif est une précision de 86 % et si la valeur du contrat est de 20 000£, il peut être convenu que, le fournisseur de prévisions reçoive 1000 £ supplémentaires par tranche de 1 % au-delà de 86 % et qu'il reçoive 2000 £ en moins par tranche de 1 % en-deçà de 86 %. Ces chiffres sont toutefois arbitraires. Quelle est la valeur réelle des prévisions meilleures ou moins bonnes ? Ce document présente un ensemble d'objectifs de vérification potentiels plus complexe que ce que l'on peut utiliser pour juger la qualité des prévisions et que l'on peut choisir pour répondre aux intérêts commerciaux du client.

L'évaluation de la qualité des prévisions météorologiques et de leur intérêt a bénéficié d'une attention toute particulière dans la littérature ces dernières années, par exemple de la part de Mylne (1999), Stanski et al. (1989), Thornes (1995,1996), Thornes & Proctor (1999), Richardson (2000), Ryder (1996), Stephenson (2000) et Wilks (1995). Ce document présente une partie de ces connaissances afin de vérifier les prévisions météorologiques routières et montre de quelle manière ces informations peuvent être utilisées par les techniciens des ponts et chaussées et d'autres utilisateurs pour 'surveiller' leurs fournisseurs de prévisions météorologiques.

Au Royaume Uni, plus de 2 millions de livres sterling sont dépensés chaque hiver pour les prévisions météorologiques routières sur un budget total d'environ 140 millions de livres pour la viabilité hivernale. Les chiffres correspondants pour les routes qui dépendent de l'Agency sont d'environ 0,33 million de £ pour les prévisions et 20 millions de £ au total. Il est difficile d'évaluer de manière indépendante la qualité et la valeur de ces prévisions météorologiques routières et la plupart

des organismes chargés de la voirie s'appuient sur un simple ensemble de statistiques fournies par les prestataires de services météorologiques. La spécification directrice actuellement en vigueur au Royaume Uni (Thornes, 1993) pour les prévisions météorologiques routières n'exige qu'un 'pourcentage correct' (PC) de 86 % pour les prévisions de gel les nuits où la température minimale de la surface de la chaussée est inférieure ou égale à 5°C. Dans ce cas, pour des raisons de simplicité, le gel est défini comme une situation dans laquelle la température de la surface de la chaussée descend à zéro, voire moins, quelle que soit l'humidité de la surface. Cette mesure de PC = 86 % est inadaptée et de nouvelles mesures sont suggérées ci-dessous.

Les fournisseurs de prévisions météorologiques doivent présenter un tableau croisé 2x2 à la fin de l'hiver pour chaque site de prévision. La température minimale de la surface de la chaussée pour chaque nuit est notée sur chaque site de prévision et comparée à la température minimale prévue de la surface de la chaussée. Les résultats sont saisis dans le tableau croisé uniquement pour les nuits où la température effective de la surface de la chaussée chute à 5 °C ou moins.

Par exemple, au cours de l'hiver 1995/96, il y a eu 77 nuits de ce type sur un site de prévisions météorologiques routières situé à High Eggborough, sur l'autoroute M62 entre Leeds et Hull. Met Office et Oceanroutes fournissaient tous deux des prévisions pour ce site pour différents clients. Les résultats de Met Office sont donnés comme exemple dans le tableau 1

Tableau 1 Tableau croisé pour l'analyse des prévisions de température de la surface de la route réalisées par Met. Office à High Eggborough pendant l'hiver 1995/96

		Observé		Total
		Gel	Pas de gel	
Prévu	Gel	a = 29	b = 6	a + b = 35
	Pas de gel	c = 4	d = 38	c + d = 42
Total		a + c = 33	b + d = 44	n = a+b+c+d = 77

a : Gel prévu et gel observé (29 nuits) : prévision correcte

c : Pas de gel prévu mais gel observé (4 nuits) : erreur de type 1

b : Gel prévu mais pas de gel observé (6 nuits) : erreur de type 2

d : Pas de gel prévu et pas de gel observé (38 nuits) : prévision correcte

Erreur de type 1 : possibilité d'accidents de la route car les routes peuvent ne pas être salées

Erreur de type 2 : possibilité de gaspillage de sel car les routes peuvent être salées inutilement

'Pourcentage correct' est simplement le pourcentage de prévisions correctes :

$$\text{Pourcentage correct} = \text{PC} = ((a + d) \times 100)/n$$

Pour ce cas, PC est 87 %, ce qui dépasse tout juste l'objectif de 86 %.

Il existe deux types d'erreur de prévision. On définit une erreur de type 1 comme les nuits où il était prévu que la température de la surface de la chaussée reste supérieure à zéro alors qu'elle est en réalité descendue à zéro, voire moins. Cette situation est potentiellement dangereuse pour l'utilisateur de la route car le technicien chargé de l'entretien peut décider de ne pas saler les routes et, si la route est humide, il peut se former de la glace à la surface de la chaussée et des accidents peuvent survenir. Le nombre de nuits avec une erreur de type 1 est indiqué dans le tableau croisé comme 'c'. Les erreurs de type 2 surviennent lorsqu'il est prévu que les températures de la surface de la chaussée descendent à zéro ou moins mais que tel n'est pas le cas. Le technicien chargé de l'entretien peut ensuite saler la route inutilement, ce qui ne met pas la sécurité routière en jeu mais constitue un gaspillage de sel et d'argent. Le nombre de nuits avec une erreur de type 2 est indiqué dans le tableau croisé comme 'b'.

L'emploi de Pourcentage correct est un contrôle trop simpliste de la qualité des prévisions qui ne tient pas compte de la proportion d'erreurs de types 1 et 2. En outre, une précision de la prévision supérieure à 86 % peut ne pas présenter plus d'intérêt que la perte subie si la précision de la prévision est inférieure à 86 %. Les coûts et pertes associés aux erreurs de types 1 et 2 sont discutés ci-dessous.

Le technicien des ponts et chaussées ne s'intéresse pas uniquement à la température de la surface de la chaussée, les prévisions relatives à l'humidité et à la neige sur la chaussée revêtent également une importance considérable. Il devrait être aussi possible de surveiller la qualité de ces prévisions dans un plan de vérification et l'évaluation des prévisions en matière de neige est discutée ci-dessous.

3. Qu'est-ce qui fait qu'une prévision météorologique est bonne : la qualité et/ou la valeur ?

Il doit y avoir un rapport clair entre la qualité et la valeur, en particulier pour les prévisions météorologiques routières. Dans ce secteur, on a toujours accepté l'existence d'une légère erreur systématique (expliquée ci-dessous) de la prévision de la température de la surface de la chaussée, ce qui est dû aux conséquences des erreurs de types 1 et 2 discutées précédemment. Une erreur de type 1 dans la prévision qui entraîne une absence de salage des routes pourrait déboucher sur des poursuites pénales à l'encontre des autorités locales en cas de dérapage d'un automobiliste sur une route verglacée. Dans ce cas, les autorités locales pourraient être amenées à verser une indemnisation de plusieurs millions de livres sterling si l'automobiliste est gravement blessé et si la franchise des autorités locales est élevée (Mead, 1998). Les erreurs de type 1 sont également indésirables car, dans la mesure où elles sont comptabilisées dans les chiffres des accidents, elles vont à l'encontre de la politique gouvernementale de diminution significative des accidents d'ici 2010. Une erreur de type 2 ne coûte aux autorités locales que des dizaines de milliers de livres sterling si les routes sont salées inutilement. Il y a par conséquent une tendance à 'prendre un excès de précautions' et à 'prévoir en excès' le nombre de gels ou de chutes de neige. D'ici peu, le fournisseur de prévisions météorologiques sera lui aussi poursuivi à la suite d'une prévision incorrecte (Millington, 1987). Les définitions de la qualité et de la valeur sont discutées ci-après avec des exemples.

4. Qualité d'une prévision

Stanski *et al.* (1989) identifient six attributs d'une prévision météorologique qui constituent la qualité totale : fiabilité, précision, compétence, résolution, acuité et incertitude. Ils avancent également le point capital selon lequel :

Il n'existe aucune mesure de vérification qui donne des informations complètes sur la qualité d'un produit.

Il faut par conséquent un certain nombre de mesures de la qualité des prévisions mais, afin d'éviter toute confusion, leur emploi doit être évident, elles doivent être faciles à calculer et leur signification statistique doit être vérifiable. Sur les six attributs mentionnés précédemment, les trois premiers (fiabilité, précision et compétence) sont les plus faciles à mesurer et seront pris en compte dans cet article. La résolution est importante pour prévoir les précipitations, par exemple la possibilité de distinction entre la neige, les giboulées, la pluie verglaçante, la grêle, la bruine et la pluie. L'acuité est une mesure de l'écart entre les prévisions et la climatologie, par exemple une méthode de prévision qui peut prévoir les gelées en été et en hiver possède une acuité élevée alors qu'une méthode de prévision qui ne peut prévoir que les gelées en hiver possède une acuité faible. L'incertitude se rapporte au climat, par exemple certaines régions du Royaume Uni possèdent comparativement peu de gelées sur les routes (Cornouailles par exemple) par rapport à d'autres (Cumbria par exemple). Cela peut avoir des répercussions sur la réalisation des objectifs de résultats (Halsey, 1995) et, si le gel ou la neige sont des événements rares, l'effet 'taux de base' (Mathews, 1997) entre en jeu, comme nous le verrons ci-après. Un autre attribut important de la prévision est la 'précision' avec laquelle la prévision peut atteindre le bon côté d'un seuil (zéro degré Celcius par exemple). Il existe de nombreux autres seuils qui sont importants pour les utilisateurs de prévisions et le client a parfois uniquement besoin de savoir si un seuil sera ou non franchi, par exemple les forts vents exerçant une influence sur la sécurité de la circulation (Thornes, 1997).

4.1 Fiabilité

On peut mesurer la fiabilité d'une prévision en calculant l'erreur systématique, ce qui apparaît si les prévisionnistes exagèrent constamment le nombre de cas de gel ou de neige. L'erreur systématique indique si le nombre de prévisions de gel émises est ou non supérieur au nombre d'observations de gel. Il est normal de trouver une erreur systématique positive dans les prévisions de gel afin de se protéger contre le risque d'erreur de type 1. L'erreur systématique se calcule de la manière suivante, à l'aide de la notation du tableau 1.

$$\text{erreur systématique} = B = (a + b) / (a + c)$$

Lorsque $B = 1$, on dit que les prévisions sont parfaitement fiables. $B > 1$ indique une prévision excessive et $B < 1$ une prévision insuffisante. L'erreur systématique de la prévision du Met. Office, indiquée dans le tableau 1, est 1,06, c'est-à-dire une légère prévision excessive. Toutefois, une erreur systématique de 1 n'implique pas nécessairement que les prévisions sont précises.

4.2 Précision

Nous avons déjà traité du Pourcentage correct (PC), il s'agit d'une mesure de la précision de la prévision. Elle se rapporte aux termes 'a' et 'd' du tableau croisé. Il existe plusieurs autres mesures de la précision qui visent à étudier les prévisions incorrectes 'b' et 'c' et les deux mesures indépendantes qui sont recommandées ici sont le Taux d'échec (M) et le Taux de fausses alertes (F), qui sont tous les deux calculés à partir du nombre effectif de cas de 'gel' et 'd'absence de gel' observés (c'est-à-dire les colonnes du tableau croisé).

(a) Le **Taux d'échec (M)** est une statistique importante car il calcule le nombre d'observations de gel qui n'avaient pas été prévus, c'est-à-dire qu'il se rapporte directement au nombre d'erreurs de type 1. Ce nombre doit être le plus près possible de zéro. Si 'c' est égal à zéro (c'est-à-dire absence d'erreur de type 1), le Taux d'échec est égal à zéro.

$$\text{Taux d'échec} = M = c / (a + c)$$

Le Taux d'échec de la prévision du Met. Office figurant dans le tableau 1 est 0,12. On peut déduire le Taux de succès ($H = (1 - M) = a / (a + c)$) du Taux d'échec et les deux statistiques ne sont par conséquent pas nécessaires. Le Taux de succès et le Taux d'échec pris absolument peuvent être trompeurs car, par exemple, si un gel était prévu chaque nuit, le Taux de succès serait égal à 1 et le Taux d'échec serait égal à zéro, même si la prévision était de très mauvaise qualité.

(b) Le **Taux de fausses alertes (F)** est également une statistique importante car il tient compte du nombre d'erreurs de type 2, c'est-à-dire du nombre de nuits où un gel était prévu mais n'a pas eu lieu 'b'. Les routes peuvent être salées inutilement au cours de ces nuits. Si 'b' est égal à zéro, F est égal à zéro. Plus la valeur de F est faible, meilleure est la qualité de la prévision. La littérature comporte une certaine confusion au sujet de la définition du Taux de fausses alertes mais, pour nous, le Taux de fausses alertes est défini de la manière suivante :

$$\text{Taux de fausses alertes} = F = b / (b + d)$$

Le Taux de fausses alertes pour les données du Met. Office figurant dans le tableau 1 est 0,14. Le Taux d'échec et le Taux de fausses alertes correspondent aux deux colonnes de données dans le tableau croisé. Il vaut mieux étudier les colonnes du tableau croisé que les lignes car ce sont les observations de gel ou d'absence de gel qui déterminent la qualité des prévisions.

4.3 Compétence

Il existe de nombreux indices de comparaison différents qui tentent d'évaluer dans quelle mesure les prévisions sont meilleures que celles que l'on pourrait obtenir par la climatologie, la persistance ou le hasard. Une prévision établie sur la base de la climatologie prendrait par exemple la probabilité de gel en fonction des températures minimales de la surface de la chaussée qui ont été observées ce même jour au cours des 30 dernières années. Pour les prévisions météorologiques routières, il est très improbable que la climatologie soit d'une quelconque utilité car la température minimale moyenne de la surface de la chaussée en hiver est supérieure à zéro sur la majeure partie du territoire du Royaume Uni (Thornes, 1995). Par conséquent, la climatologie ne prévoirait jamais un gel dans la plupart des régions du Royaume Uni. La climatologie peut indiquer que, en moyenne, il faut s'attendre à un nombre donné de gels au cours d'un hiver mais ne peut pas indiquer à quel moment. La persistance est une méthode de prévision très simple ; elle indique par exemple que, s'il a gelé la nuit précédente, il gèlera la nuit qui vient. Le résultat serait très bon pour les longues périodes de gel mais serait toujours incorrect si le temps passait de nuits avec gelées à des nuits sans gelée et vice versa. On peut faire appel au hasard pour voir la répartition des indices dans le tableau croisé est conforme à ce que permettent d'attendre les fréquences d'observations et de prévisions de gel (par exemple indice de comparaison de Heidke discuté par Stanski et al., 1989) mais la statistique obtenue est difficile à interpréter. Il est par conséquent proposé d'utiliser une mesure de la compétence facile à calculer et utilisable dans les contrats liés aux résultats.

L'indice de comparaison de Peirce (PSS) est apparu en 1884 et a été depuis lors redécouvert sous la forme de l'indice de résultat de Kuipers et du True Skill Statistic (TSS, statistique de compétence réelle) discutés par Stephenson (2000). Son calcul est simple à partir du Taux d'échec (M) et du Taux de fausses alertes (F), de la manière suivante :

$$\text{indice de comparaison de Peirce} = \text{PSS} = 1 - M - F$$

Plus la valeur de PSS est proche de 1, meilleur est le résultat. Pour les données du Met. Office figurant dans le tableau 1, $\text{PSS} = 0,74$. L'une des faiblesses de PSS réside dans le fait qu'il traite M et F à égalité, indépendamment des différences que peuvent avoir leurs conséquences. Avant que des objectifs puissent être étudiés pour une de ces mesures, la valeur des prévisions doit être prise en compte puis incluse dans un contrat lié aux résultats. La définition des objectifs est relativement arbitraire dans une fourchette spécifiée mais, si les objectifs sont raisonnables et homogènes sur l'ensemble des zones des agents, ils peuvent représenter une bonne mesure des résultats.

5. Valeur d'une prévision

Contrairement à la compétence, la valeur d'une prévision dépend des exigences de l'utilisateur. Thompson & Brier (1955) ont proposé le simple rapport coût/perte pour juger la valeur. Il peut s'appliquer aux situations dans lesquelles (a) l'effet du mauvais temps sur une activité et le coût de mesures pour éviter les dégâts dus au temps est connu en termes monétaires, (b) le mécontentement du décideur en cas de perte est une fonction linéaire de la valeur monétaire de la perte et (c) la probabilité de survenue de mauvais temps est connue avec précision. Pour la viabilité hivernale, il doit être possible d'établir des estimations raisonnables de (a) et (b) alors que (c) est connu après l'événement.

Il est normal d'indiquer le coût de la prise de mesures comme C, dans ce cas pour saler les routes, et d'indiquer la perte subie comme L, si les routes ne sont pas salées et si des accidents et des retards se produisent, en tenant compte des économies réalisées par l'absence de salage. Une nuit donnée, si 'p' est la probabilité attendue de mauvais temps, c'est-à-dire gel ou neige :

- si $p > C / L$ il est intéressant de saler les routes
- si $p < C / L$ il n'est pas intéressant d'intervenir
- si $p = C / L$ aucune importance

On suppose que $0 < C / L < 1$, c'est-à-dire que $C < L$

Si l'on rapporte ce point au tableau croisé du tableau 1, on trouve que :

Erreurs de type 1 = c Par conséquent, coûts engagés = $c \times L = cL$

Erreurs de type 2 = b Par conséquent, coûts engagés = $b \times C = bC$

Si l'on établit que, pour des autorités locales données, le coût de salage des routes pour une nuit est de 20 000 £ et que la perte L subie en raison de l'absence de salage risque de s'élever à 160 000 £, (Thornes (1999) a découvert un rapport avantage/coût de 8:1 pour la viabilité hivernale), $C / L = 0,125$ et, pour les fréquences d'erreur figurant dans le tableau 1 :

$$cL = 4 * 160\ 000\ \text{£} = 640\ 000\ \text{£}$$

$$bC = 6 * 20\ 000\ \text{£} = 120\ 000\ \text{£}$$

Ainsi, la perte totale pour les autorités locales en raison des erreurs de prévision est estimée à $(cL + bC) = 760\ 000\ \text{£}$. Coût des nuits où les routes ont été salées correctement = $a * 20\ 000\ \text{£} = 29 * 20\ 000\ \text{£} = 580\ 000\ \text{£}$.

Par conséquent, coût total pour l'hiver = $aC + cL + bC = 1,34$ million £.

On compare habituellement ce coût aux coûts qui auraient été engagés si aucune prévision n'était réalisée et si les routes étaient salées les 77 nuits marginales = $77 * 20\ 000\ \text{£} = 1,54$ million £.

Les prévisions ont donc fait économiser aux autorités locales $1,54\ \text{£} - 1,34\ \text{£} = 0,2$ million £.

Si les prévisions avaient été parfaites, les routes n'auraient été salées que les nuits de gel, c'est-à-dire $(a + c) = 33$ nuits. Ce salage aurait coûté $33 * C = 33 * 20\ 000\ \text{£} = 660\ 000\ \text{£}$.

Des prévisions parfaites auraient permis aux autorités locales d'économiser $1,54\ \text{£} - 0,66\ \text{£} = 0,88$ million £.

Pour replacer ces chiffres dans leur contexte, il faut noter que, si les routes n'étaient jamais salées, la perte totale serait de :

$$(a + c) * L = 33 * 160\ 000\ \text{£} = 5\ 280\ 000\ \text{£}$$

Par conséquent, pour résumer, les dépenses E des différentes options sont données par ce qui suit :
avec des prévisions météorologiques parfaites, les dépenses se seraient élevées à $E(P)=0,66$ million £
avec la précision indiquée dans le tableau 1, les dépenses se seraient élevées à $E(A)=1,34$ million £
si les routes étaient salées chaque nuit marginale, le coût s'élèverait à $E(S)=1,54$ million £
si les routes n'étaient jamais salées, le coût s'élèverait à $E(N)=5,28$ millions £

Ces chiffres ne sont donnés qu'à titre d'exemple mais ils montrent la valeur de prévisions précises et qu'il faut éviter les erreurs de type 1. Il reste beaucoup à gagner en augmentant la précision des prévisions. Une méthode pour faire diminuer les erreurs de type 1 consiste à émettre un plus grand nombre de prévisions de gel mais on augmente ainsi le risque d'erreur de type 2. Cela est acceptable jusqu'à une certaine limite car le coût d'une erreur de type 2 est très inférieur à celui d'une erreur de type 1. Afin de comparer la qualité et la valeur d'un fournisseur de prévisions, il faut un indice qui prend en compte le nombre d'erreurs de types 1 et 2 et l'ampleur du rapport coût/perte. La valeur relative 'V' d'un système de prévision, telle qu'elle est définie par Richardson (2000), compare la dépense moyenne 'ME' d'une prévision et la dépense moyenne d'une prévision reposant sur la climatologie, ce qui donne :

$$V = (ME(\text{climat}) - ME(\text{prévision})) / (ME(\text{climat}) - ME(\text{parfait}))$$

V a une valeur de 1 si le système de prévision est parfait et une valeur de zéro si la prévision n'est pas meilleure que la climatologie. Une prévision reposant sur la climatologie prévoirait par exemple un gel une nuit donnée s'il avait gelé cette nuit en moyenne au cours des 30 dernières années. Malheureusement, les utilisateurs de prévisions météorologiques ont rarement accès aux données relatives au climat et leurs sites de prévisions sont bien souvent éloignés des stations météorologiques.

L'indice de valeur (V) est par conséquent défini comme :

$$V = (\text{ME}(\text{sans prévision}) - \text{ME}(\text{prévision})) / (\text{ME}(\text{sans prévision}) - \text{ME}(\text{parfait}))$$

lorsque ME(sans prévision) peut être lié à la climatologie, à la persistance ou au hasard ou à tout autre élément utilisé pour la comparaison avec la prévision. Par exemple, on peut comparer les dépenses de salage toutes les nuits marginales ou de salage toutes les nuits ou d'absence totale de salage (méthode la moins chère qui n'utilise pas de prévision). Dans l'exemple utilisé précédemment, il revient moins cher de saler toutes les nuits marginales (E(S) = 1,54 million £) que de ne pas saler du tout (E(N) = 5,28 millions £). Par conséquent, on peut dire que :

$$V = (E(S) - E(A)) / (E(S) - E(P))$$

A l'aide des chiffres ci-dessus, $V = (1,54 - 1,34) / (1,54 - 0,66) = 0,23$
V peut se calculer simplement de la manière suivante

$$V = ((c + d) - (c/p)) / (n - W)$$

où $p = C / L$, n = nombre de nuits RST $\leq 5^\circ\text{C}$, W = indice hivernal (a + c)

Résumons les statistiques de qualité et de valeur du tableau 2

Tableau 2. Statistiques de qualité et de valeur des prévisions à High Egborough pour 77 nuits de l'hiver 1995/96

1) PC = (a + d) * 100 / n	= 87 %
2) Erreur systématique = (a + b) / (a + c)	= 1,06
3) Taux d'échec = c / (a + c)	= 0,12
4) Taux de fausses alertes = b / (b + d)	= 0,14
5) Indice de comparaison de Peirce (1 - M) - F	= 0,74
6) Coût total (aC+bC+cL)	= 1,34 million £
7) Coût potentiel sans prévision (nC)	= 1,54 million £
8) Coût potentiel avec prévisions parfaites (a + c) C	= 0,66 million £
10) Indice de valeur V	= 0,23

L'indice de valeur varie normalement entre zéro et 1. Si V est négatif, les prévisions sont tellement médiocres qu'il serait plus intéressant financièrement de saler les routes chaque nuit marginale. Il faut prendre des précautions pour définir la valeur de d, en d'autres termes il faut garantir que seules des décisions marginales sont incluses dans le tableau croisé. Par exemple, dans les tableaux 1 et 2 ci-dessus, seules 77 des 151 nuits d'hiver (1^{er} novembre - 31 mars) étaient prises en compte lorsque la température minimale de la surface de la chaussée chutait à 5°C ou moins. Dans le cas contraire, d serait très élevé et rendrait les calculs moins significatifs. Si nous avions pris en compte les 151 nuits du 1^{er} novembre au 31 mars, $(n - W) = 151 - 33 = 118$ et $V = 0,71$. De plus, étant donné que le dénominateur de l'indice de valeur est (n - W) si l'indice doit servir à comparer les résultats des prévisions en différents sites géographiques, il faut veiller à ce que (n - W) ne varie pas de manière

significative d'une zone à l'autre et d'un hiver à l'autre. Heureusement, dans une région plus froide ou un hiver plus froid, n et W augmentent tous deux, se compensant réciproquement dans une large mesure. La valeur de V dépend aussi de $p = C/L$. Le tableau 3 montre l'effet de la variation de p entre 0,1 et 1,0 pour les valeurs du Met. Office figurant dans le tableau 2

Tableau 3 Valeurs de V pour différentes valeurs C/L

C/L	V
0,1	0,05
0,125	0,23
0,2	0,5
0,4	0,73
0,6	0,8
0,8	0,84
1,0	0,86

Pour définir les objectifs de résultats, il est nécessaire de commencer par convenir d'un rapport C/L réaliste puis de définir des objectifs réalistes en fonction du nombre probable d'erreurs de types 1 et 2.

6. Neige et effet du niveau de base

Les techniciens des ponts et chaussées reçoivent un bulletin de prévision indiquant la probabilité de chutes de neige au cours des 24 heures suivantes. Le nombre de jours de chutes de neige au Royaume Uni est très inférieur au nombre de jours où la température de la surface de la chaussée chute en-dessous de zéro. Au cours de l'hiver 1995/96 à High Eggborough, pour les 77 nuits où la température de la surface de la chaussée a chuté à 5 °C ou moins, il y a eu 33 gelées et 16 jours de chutes de neige. La plupart des hivers, on relève dans cette région du Royaume Uni moins de 10 jours de neige. Le rapport C/L et SCR ne sont normalement pas pris en compte pour la neige au Royaume Uni mais doivent l'être sous les climats connaissant un enneigement plus important. Certains phénomènes météorologiques sont beaucoup plus fréquents que d'autres, ce qui peut avoir des répercussions sur la qualité des prévisions. On parle d'effet du niveau de base. Mathews (1997) utilise cet effet pour montrer que, lorsque la prévision annonce de la 'pluie', la probabilité de sa précision est moindre que lorsque la prévision annonce 'absence de pluie'. On peut utiliser les prévisions de chutes de neige réalisées par deux fournisseur de prévisions pour le même site de High Eggborough au cours de l'hiver 1995/96 pour illustrer cet effet comme le montre le tableau 4.

Tableau 4 Prévisions de chutes de neige pour High Eggborough pendant 77 nuits au cours de l'hiver 1995/96

Prévu	Fournisseur A		Observé	Fournisseur B		Observé
	Neige	Pas de neige		Neige	Pas de neige	
Neige	9	7	7	15	15	15
Pas de neige	7	54	54	1	46	46

	Fournisseur A	Fournisseur B
1) PC	= 81 %	= 79 %
2) Erreur systématique	= 1,0	= 1,88
3) Taux d'échec	= 0,44	= 0,06
4) Taux de fausses alertes	= 0,12	= 0,25
5) Indice de comparaison de Peirce	= 0,45	= 0,69
6) Indice de valeur (C/L=0,125)	= 0,082	= 0,64

Ainsi, bien que le pourcentage correct du fournisseur A, avec 81 %, soit meilleur que celui du fournisseur B, avec 79 %, et que l'erreur systématique de 1,0 du fournisseur A soit meilleure que l'erreur systématique de 1,88 du fournisseur B, le reste des statistiques indique tout autre chose. En effet, le taux d'échec du fournisseur A est de 0,44, contre 0,06 seulement pour le fournisseur B. Ainsi, il faut être très prudent dans l'interprétation des prévisions de chutes de neige. Ces résultats contrastés pour le fournisseur A sont une conséquence du faible niveau de base de 16 jours de chute de neige sur 77 jours. Les résultats du fournisseur B montrent les avantages d'une forte erreur systématique positive, c'est-à-dire une 'prévision excessive' de neige qui diminue le risque d'erreur de type 1. L'indice de comparaison de Peirce et l'indice de valeur sont beaucoup plus élevés pour le fournisseur B et montrent nettement que le fournisseur B a donné des prévisions de chutes de neige de meilleure qualité que celles du fournisseur A. Il reste une forte marge d'amélioration pour les deux fournisseurs.

7. Conclusion

Le client peut calculer un certain nombre de statistiques très utiles à l'aide d'un simple tableau croisé. Ces résultats peuvent être inscrits dans des contrats liés aux résultats ou être au moins exigés des prestataires de services de prévisions météorologiques en fin de saison. Ces statistiques peuvent être aussi utilisées pour choisir le meilleur fournisseur de prévisions et, si un nouveau fournisseur arrive sur le marché, un contrat lié aux résultats peut offrir une protection contre des résultats de qualité médiocre.

Le nouvel indice de valeur doit rendre la définition des objectifs de valeur plus compréhensible mais il faut noter qu'il dépend fortement du rapport coût-perte. Il est par conséquent important que le client et le fournisseur de prévisions s'entendent sur cette valeur avant de signer un contrat. Il ne faut utiliser l'indice de comparaison de Peirce pour fixer des objectifs de résultats que si C/L est proche de 1, en d'autres termes si les Taux d'échec et les Taux de fausses alertes ont des répercussions économiques identiques pour l'utilisateur.

8. References

- Halsey, N. G. J. (1995). Setting verification targets for minimum road temperature forecasts, *Meteorol. Appl.*, 2 : 193-197.
- Matthews, R. (1997). How Right Can You Be ?, *New Scientist*, No 2072, 28-31.
- Mead, J. (1998). There's a killer on the loose. *Proceedings of the Cold Comfort 98 Conference*, September 1998, Northampton (organisée par le *Surveyor Magazine*)
- Millington, (1987). Weather Forecasting and 'The Limitless Seas', *The Law Quarterly Review*, 103 : 234-245.
- Mylne, K. R. (1999). The use of forecast value calculations for optimising decision making using probability forecasts. *17th Conference on Weather Analysis and Forecasting*, 13-17 septembre 1999, Denver, Colorado, 235-239.
- Richardson, D. (2000). Skill and economic value of the ECMWF ensemble prediction system. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, 126, 649-668
- Ryder, P. (1996). *Analytical Quality-Value Relationships in Meteorological Forecasting and Warning Services*. Rapport interne non publié du Met. Office.
- Stanski, H. R. & Wilson, L. J. & Burrows, W. R. (1989). *Survey of common verification methods in meteorology*. WMO/TD-No. 358, World Meteorological Organisation, Genève, Suisse, 114 pp.
- Stephenson, D. B. (2000). Use of the 'odds ratio' for diagnosing forecast skill. *Weather and Forecasting*, 15 : 221-232.
- Thompson, J.C. & Brier, G.W. (1955). The Economic Utility of Weather Forecasts, *Mont. Wea. Rev.*, 83 : 249-254
- Thornes, J. E. (1993). Review of the Efficiency and Effectiveness of the National Ice Prediction Network in England, Unpublished Final Research Report pour Highways Agency
- Thornes, J. E. (1995). A comparative real-time trial between the Met. Office and Oceanroutes to predict road surface temperatures, *Meteorol. Appl.*, 2 : 113-119.

- Thornes, J. E. (1996). The Quality and Accuracy of a Sample of Public and Commercial Weather Forecasts in the UK, *Meteorol. Appl.*, 3 : 63-74.
- Thornes, J. E. (1997). Transport. In *Applied Climatology*, ed by A. Perry & R. Thomson, Routledge, ch 12,
- Thornes, J. E. (1999). UK road salting – an international benefit/cost review, *Journal of the Institute of Highways and Transportation*, July/August : 22-26.
- Thornes, J. E. & Proctor, E. A. J. (1999) Persisting with Persistence : The Verification of Radio 4 Weather Forecasts, *Weather*, 54 : 311-321.
- Wilks, D.S. (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Academic Press, 465p