Prévision quantitative des précipitations

Y. Veyrier

Equipe Contrôle de la Division Prévision de la Météorologie nationale

1. Rappels sur les modèles numériques de prévision objective utilisés à la Météorologie nationale

Depuis plus d'une vingtaine d'années que la prévision numérique a été introduite à la Météorologie nationale, les performances de ses modèles se sont accrues avec la puissance des calculateurs. Aujourd'hui la Météorologie nationale utilise opérationnellement un CRAY II capable de traiter 500 millions d'opérations par seconde, et la qualité des prévisions à 5 jours d'échéance est équivalente à celle que l'on obtenait numériquement à 24 heures d'échéance dans les années 1950.

1.1. Les systèmes actuels de prévision

La nécessité de traiter l'atmosphère sur l'hémisphère (voire la sphère) impose des limites quant aux résolutions spatiale et temporelle que l'on peut utiliser pour les calculs. Or on a besoin d'échelles d'autant plus fines que l'on veut représenter précisément les phénomènes atmosphériques. Ainsi pour prévoir correctement les précipitations doit-on simuler les effets du relief avec précision.

Pour être à même de répondre à ces deux impératifs, la Météorologie nationale a mis en place un système gérant deux modèles imbriqués. Le modèle à grande échelle (maille équivalente de l'ordre de 120 km de côté à nos latitudes) EMERAUDE, mis en service fin 1984, vient de devenir global (il était hémisphérique jusqu'en juin 1988), tandis que le modèle mésoéchelle (maille voisine de 35 km de côté) PERIDOT, mis en service en 1985, effectue ses calculs sur un domaine limité à la France et à son environnement (celui-ci a été récemment étendu dans le cadre de l'utilisation du CRAY II) (fig. 1).

1.2. Le traitement des précipitations dans les modèles

A ce stade, après simplification aux échelles considérées, la formulation mathématique des lois physiques auxquelles obéit l'atmosphère ne suffit pas pour faire intervenir les phénomènes de plus petites échelles.

1. Sur cette figure sont représentés les domaines respectifs des modèles du système de prévision de la Météorologie Nationale. Le domaine du modèle EMERAUDE était hémisphérique (il vient de devenir global). Celui du modèle PERIDOT était dans un premier temps limité à la France et son environnement proche. Il a été récemment étendu dans le cadre de l'utilisation opérationnelle du calculateur CRAY II.

Quantitative rainfall forecast

This article is a synthesis about the state of the quantitative rainfall forecast at the State Meteorological Observatory. The forecast system is briefly described, whilst especially emphasizing the characteristics of rainfall. Several follow up and quality control results of the numerical amounts of rainfall, mainly derived from the PERIDOT mesoscale model which was put into operation in 1985, are specified. It demonstrates a potential which is opening new perspectives for these types of forecasts.

Ainsi la condensation et la convection qui jouent un rôle important dans la formation des précipitations doivent être paramétrées à l'aide de schémas assez rudimentaires et souvent empiriques. Les modèles ne gèrent pas explicitement la variable « eau-liquide », mais génèrent des précipitations dès qu'il y a sursaturation dans une maille (précipitations de grande échelle). Ils ne décrivent pas non plus explicitement les mouvements verticaux liés aux phénomènes convectifs (orages, lignes de grains,...) mais en simulent les effets d'homogénéisation verticale des grandeurs thermodynamiques et les précipitations convectives éventuelles.

1.3. Les variables concernant l'humidité prises en compte pour l'initialisation

La connaissance approfondie et détaillée de l'état initial d'un modèle (schéma d'analyse) conditionne la qualité des prévisions que l'on obtiendra (un processus d'initialisation est nécessaire pour assurer la cohérence de cet état initial avec les hypothèses concernant la physique de l'atmosphère).

Pour analyser l'humidité de l'atmosphère on recense le maximum d'observations disponibles (prédicteurs) qui peuvent lui être reliées statistiquement. Outre les mesures d'humidité (observations au sol et en altitude), on utilise les observations de nuages faites au sol et les données télédéteectées issues de satellites (radiances).

2. L'utilisation opérationnelle et le contrôle des modèles en matière de prévisions quantitatives de précipitations

2.1. L'étape essentielle de la démarche du prévisionniste : interprétation et adaptation des sorties de modèles

Au fil des progrès réalisés en prévision numérique, l'utilisation des modèles en matière de prévision de précipitations a évolué. Pendant longtemps elle a consisté en l'interprétation des champs d'altitude prévus (géopotential, température, humidité,...). En fonction de ses connaissances climatologiques, géographiques et de son expérience, le prévisionniste est en mesure d'en déduire une évaluation de l'intensité des précipitations avec un degré de confiance variable selon l'échéance, le type de temps et le domaine considéré.

Des études d'adaptations statistiques des sorties de modèles ont parallèlement été menées qui, si elles ont donné des résultats intéressants concernant la prévision des températures au niveau du sol, ont été jusqu'alors moins fructueuses pour la prévision des précipitations.

Les premières utilisations des sorties directes de quantités de précipitations ont pris la forme d'évaluations de lames d'eau prévues par bassins dont les résultats, estimés au cours des années 1981 à 1984, se sont montrés moins satisfaisants que ceux obtenus par le prévisionniste (cf. *Prévision quantitative de la pluie et assistance météorologique*).

Aujourd'hui, pour la courte échéance, le prévisionniste dispose du modèle mésoéchelle PERIDOT comme support complémentaire pour l'interprétation et l'adaptation des prévisions numériques. A partir de l'analyse des prévisions à grande échelle (EMERAUDE) et de sa connaissance précise du temps observé (observations des stations du réseau synoptique, images satellites, images radar), il lui est possible de critiquer la qualité des prévisions à petite échelle (PERIDOT). Il concentre alors son attention sur la description locale de phénomènes précis (précipitations, températures, nébulosités,...), issue de ce modèle, qu'il peut éventuellement valider. A ce niveau intervient la maîtrise des particularités de ce type de prévisions acquise par l'expérience qu'il en a.

Cette démarche révèle l'importance de la mise en œuvre de contrôles systématiques des divers éléments intervenant, et particulièrement, en ce qui nous concerne, des prévisions quantitatives de précipitations.

2.2. Contrôle semi-objectif des quantités de précipitations prévues par les modèles EMERAUDE et PERIDOT dans le cadre de leur utilisation opérationnelle

Au cours des trois premiers mois de l'année 1986 une évaluation systématique des quantités de précipitations prévues par les modèles EMERAUDE et PERIDOT a été menée dans le cadre de leur utilisation opérationnelle. Tous les jours ces prévisions sont disponibles sous la forme de cumuls, en chaque point de grille, portant sur 6 heures et jusqu'à 36 heures d'échéance pour PERIDOT et 96 heures d'échéance pour EMERAUDE. Les isohyètes en résultant sont tracées sur un domaine centré sur la France.

Le problème majeur rencontré tient à la nature complexe du champ de précipitations réelles pour lequel on ne dispose que d'observations quantitatives discrètes. Toutefois l'avantage d'un contrôle en temps réel est que ces données peuvent être valablement critiquées et interpolées avec une relative confiance en les confrontant à d'autres sources de mesures (images radar, images satellites, réseau nivométéorologique en hiver pour les zones montagneuses). On a pu de la sorte obtenir pour chaque situation un tracé des isohyètes observées qui doit cependant être considéré avec prudence.

Les critères de sélection des situations présentées sont axés sur le comportement du modèle PERIDOT, d'une part en rapport avec la situation météorologique et la qualité de sa prévision (bonne ou mauvaise), et d'autre part en rapport avec l'appréciation de l'apport ou de la détérioration éventuelle d'information sur le modèle EMERAUDE.

Cette étude montre que pour des situations de type hivernal, le modèle PERIDOT s'avère être un outil complétant notablement l'information du modèle EMERAUDE. Notamment, une meilleure prise en compte d'effets orographiques d'échelles assez fines (sur le pourtour méditerranéen en particulier) lui permet de diagnostiquer des noyaux d'intensités pouvant dépasser 20 mm en 6 heures (quand le modèle à grande échelle n'indique que des précipitations faibles) qui sont comparables aux observations et dont la localisation est conforme à la réalité. Dans certains cas de situations de

DATE DU RESEAU DE BASE : 22/01/1986 à 00TU
ECHEANCE DE PREVISION : 30 heures

PRESSION REDUITE AU NIVEAU DE LA MER (hPa)
FRONTS DE SURFACE
1e 23/01/1986 à 06TU

PRECIPITATIONS OBSERVEES
(MM)
CUMUL DU 22/01 à 18TU
AU 23/01 à 06TU

PREVISION PERIDOT (MM)
CUMUL DU 22/01 à 18TU
AU 23/01 à 06TU

PREVISION EMERAUDE (MM)
CUMUL DU 22/01 à 18TU
AU 23/01 à 06TU

2. Cette situation est caractérisée par le passage d'une perturbation sur la France soumise à un flux d'ouest rapide. Le modèle PERIDOT donne une information quantitative complémentaire sur le modèle EMERAUDE. Mais il aurait été intéressant de disposer d'une analyse plus fine des précipitations tombées sur l'ouest du Massif Central pour évaluer l'effet au vent du relief qui semble important.

DATE DU RESEAU DE BASE : 28/01/1986 à 00TU
ECHEANCE DE PREVISION : 30 heures

PRESSION REDUITE AU NIVEAU DE LA MER (hPa)
FRONTS DE SURFACE
1e 29/01/1986 à 06TU

PRECIPITATIONS OBSERVEES
(MM)
CUMUL DU 29/01 à 00TU
AU 29/01 à 06TU

PREVISION PERIDOT (MM)
CUMUL DU 29/01 à 00TU
AU 29/01 à 06TU

PREVISION EMERAUDE (MM)
CUMUL DU 29/01 à 00TU
AU 29/01 à 06TU

3. Cette situation météorologique est d'un type classique généralement associé à des précipitations importantes sur le relief des régions méridionales. L'apport du modèle PERIDOT, lié à sa résolution plus fine sur le modèle EMERAUDE, est très substantiel. En effet ce modèle donne une information appréciable quant à l'existence et aux ordres de grandeurs de noyaux plus intenses, même si leur localisation n'est pas parfaite.

précipitations à caractère essentiellement frontal, PERIDOT semble capable de reproduire des ondulations qui passent au travers de la maille du modèle EMERAUDE.

Cependant l'effet de foehn, se traduisant par des précipitations moindres sous le vent du relief, serait un peu surestimé, tandis que les précipitations au vent du relief semblent parfois localisées un peu trop à l'avant de celui-ci.

Les figures 2 et 3 sont données à titre d'exemples de cette approche et ne sont pas représentatives de toutes les caractéristiques mises en évidence.

2.3. Contrôles objectifs

Parallèlement aux contrôles effectués dans le cadre de l'utilisation des modèles, les équipes chargées de leur développement procèdent à des évaluations objectives. L'accent est alors mis sur l'aspect diagnostic dans le but de décélérer la nature d'éventuels défauts systématiques auxquels on pourra ensuite remédier.

2.3.1. Evaluation de la prévision par PERIDOT des paramètres du temps sensible

L'équipe du CRMD de la Météorologie nationale spécialisée dans ce domaine a édité une synthèse des contrôles systématiques des prévisions par PERIDOT des paramètres du temps sensible près du sol (températures minimales et maximales quotidiennes, précipitations,...) réalisés au cours de l'année 1986.

La nécessité de disposer d'observations avec une densité comparable à celle de la grille du modèle a conduit à avoir recours au réseau synoptique des stations de surface. Celles-ci sont au nombre de 138 réparties sur le territoire français. La méthode a consisté à comparer les prévisions obtenues au point de grille le plus proche de chaque station aux valeurs observées. On rencontre alors deux principaux problèmes. D'une part « le plus proche » traduit parfois un éloignement notable qui peut en outre s'accompagner d'une différence d'altitude non négligeable entre le relief réel et celui du modèle. D'autre part, une étude complémentaire a

Echéance de prévision	0h- 6h	6h- 12h
Nombre d'observations	27300	39700
Moyenne observée	0,6	0,9
Moyenne prévue	0,2	0,4
Erreur moyenne (prévision-observation)	-0,41	-0,48
Erreur absolue moyenne	0,62	0,91

Echéance de prévision	24h-30h	30h-36h
Nombre d'observations	26800	39200
Moyenne observée	0,7	0,9
Moyenne prévue	0,4	0,5
Erreur moyenne (prévision-observation)	-0,26	-0,45
Erreur absolue moyenne	0,71	1,07

Les moyennes et les erreurs sont exprimées en mm.

4. Tableau de statistiques annuelles (1986) de cumuls en 6 heures de précipitations observées et prévues par le modèle PERIDOT aux stations du réseau synoptique français d'observations météorologiques (tiré de Evaluation du modèle à maille fine Périidot).

EVENEMENTS : A = PLUIE , NA = NON PLUIE

P\O	A	NA	
A	12 122	8 329	20 451
NA	2 373	11 121	13 494
	14 495	19 450	33 945

pourcentage de prévisions correctes = 68 %
pourcentage de détections = 84 %
pourcentage de fausses alertes = 41 %
indice de qualité (ROUSSEAU) = 0,37

EVENEMENTS : CLASSES DE HAUTEURS EN MM

P\O	0	0- 1	1- 5	5-10	> 10
0	16350	1837	364	96	76
0- 1	7622	3230	923	181	108
1- 5	603	983	681	159	98
5-10	72	168	115	61	31
> 10	32	63	48	24	20

nombre d'observations = 39 174
indice de qualité (ROUSSEAU) = 0,51

5. Tableaux de contingence des variables « pluie observée », « pluie prévue », la pluie étant cumulée sur 6 heures et la prévision étant celle du modèle PERIDOT pour l'échéance 30 heures - 36 heures (tiré de Evaluation du modèle à maille fine Périidot).

montré qu'une part des erreurs constatées s'explique par la variabilité spatiale des paramètres météorologiques qui, à l'échelle inférieure à la maille du modèle, est en quelque sorte un seuil de prévisibilité (cf. *Evaluation du modèle à maille fine Périidot*). En effet, une valeur prévue au point de grille est représentative d'une moyenne sur un domaine de dimension égale à la maille du modèle. Elle n'est donc pas directement comparable à la valeur mesurée à la station.

On doit aussi tenir compte des erreurs de mesures et de transmissions qui n'ont été que partiellement filtrées.

Les statistiques concernant les précipitations sont particulièrement sensibles à ces problèmes et doivent être interprétées avec prudence.

Les erreurs moyennes montrent un déficit systématique des précipitations du modèle, accentué dans les premières échéances (problème du « spin up »), et moindre la nuit (sans doute parce que les précipitations convectives sont dans la réalité aussi plus faibles la nuit) (fig. 4).

Les écart-types des erreurs sont difficilement utilisables du fait de la méconnaissance de l'écart-type des précipitations dans la maille (qui n'a d'ailleurs peut-être pas de sens).

L'indice de Rousseau calculé à partir des tableaux de contingence des prévisions par seuils montre une qualité nettement meilleure qu'une prévision de type climatologique. L'analyse plus détaillée fait apparaître une discrimination moyenne des événements « pluie » et « non pluie » (68 % de prévisions correctes), qui s'accompagne

d'un taux de fausses alertes de l'ordre de 41 % (ces résultats sont ceux obtenus pour le cumul entre les échéances 30 heures et 36 heures). Elle révèle aussi des prévisions trop fréquentes de petites pluies (≤ 1 mm) alors qu'il ne pleut pas, et le biais négatif obtenu sur les quantités semble dû à une nette sous-estimation des fortes pluies (fig. 5).

2.3.2. Evaluation d'une simulation du modèle PERIDOT sur les USA

La synthèse de l'évaluation semi-objective évoquée n'a porté que sur les trois premiers mois de l'année 1986 car au cours du printemps, et surtout de l'été, on s'est aperçu d'une dégradation sensible de la qualité des prévisions de précipitations reliée à des défaillances encore importantes du schéma de paramétrisation de la convection. Il n'est donc pas surprenant que les contrôles objectifs qui avaient porté sur toute l'année donnent une vision plus pessimiste de la qualité des prévisions.

On touche là à un problème important en matière de prévision numérique des précipitations à mésoéchelle qu'a mis en évidence l'évaluation d'une simulation du modèle PERIDOT sur les USA. En effet, cette étude du comportement du modèle sur une situation (22 avril 1981) pour différentes résolutions (mailles de 160, 80, 40 km) et deux schémas classiques de convection (KUO-GELEYN, BOUGEAULT) souligne l'importance d'une paramétrisation soignée de la convection profonde à ces échelles.

3. Conclusion et perspectives

Les résultats présentés des contrôles des prévisions numériques de précipitations permettent d'apprécier les progrès réalisés et les perspectives pour l'avenir, tout en fixant les limites de l'utilisation de ce type de produits.

En effet, le modèle mésoéchelle PERIDOT est à même désormais de diagnostiquer les prévisions de paramètres du temps sensible au niveau du sol. Mais on rencontre alors le problème du mode d'exploitation de ces données. Ainsi, les comparaisons directes des quantités prévues aux quantités mesurées confirment la nécessité d'intégrer ces nouveaux produits dans la démarche suivie par le prévisionniste d'interprétation et de validation des sorties de modèles. Une méthode de contrôle conforme à cette démarche a mis en évidence les qualités comme outil complémentaire du modèle PERIDOT. Des évaluations plus fines du comportement des modèles révèlent aussi les défauts systématiques que l'on doit corriger.

La méthodologie des contrôles qui seront développés devra donc viser à satisfaire trois objectifs.

Il faut bien sûr assurer le suivi de l'évolution de la qualité des prévisions que l'on fournit. Pour ce faire il est nécessaire de coder l'information de telle sorte que l'on dispose de données comparables. Les problèmes de qualité des mesures peuvent être en partie résolus par l'utilisation de fichiers critiqués (fichiers climatologiques pour des contrôles à long terme, ou fichiers opérationnels mais moins fournis utilisés pour le suivi au jour le

jour des bilans hydrologiques). Les difficultés relatives à la représentativité des divers types de données peuvent être surmontées en considérant des domaines géographiques appropriés (bassins versants, maille du modèle) et différentes périodes de cumuls.

Pour tirer le meilleur profit du modèle, il est impératif d'en connaître au mieux le comportement et les particularités. Un suivi systématique dans le cadre de l'utilisation opérationnelle apporte des éléments de réponse que l'on ne sait actuellement pas évaluer autrement. Dans cette même optique, on peut envisager un contrôle orienté vers la recherche des utilisations les plus adaptées aux prévisions que l'on peut fournir. Par exemple, plutôt que de fixer *a priori* le point de grille que l'on assimilera à une station d'observation, on peut chercher à déterminer le plus représentatif de la station en question pour la prévision des précipitations. On notera qu'une étude d'adaptation statistique des sorties du modèle PERIDOT est en cours.

Enfin du fait même du caractère empirique des schémas de paramétrisation des phénomènes physiques intervenants, il est indispensable pour les améliorer d'en mesurer le plus précisément possible les qualités comme les défauts. Ces derniers ne pourront être corrigés qu'une fois que l'on aura pu les isoler. Pour cela il est nécessaire d'associer à la batterie des diagnostics existants ceux concernant la prévision des précipitations qui répondent à cet objectif. Ainsi pour analyser correctement le processus du schéma de convection en action, il faut pouvoir séparer les domaines et les situations météorologiques où il intervient de manière prépondérante.

Bibliographie

Le modèle de prévision numérique Périodot — Formulation dynamique et modes de fonctionnement, M. IMBARD, A. JOLY, R. JUVANON du VACHAT. Note de travail de l'Etablissement d'études et de recherches météorologiques (EERM) n° 161 (juillet 1986).

Evaluation du modèle à maille fine Périodot — Comparaison avec le modèle Emeraude, J.M. AUDOIN, D. ROUSSEAU, R. JUVANON du VACHAT. Note de travail de l'EERM n° 184 (mai 1987).

Evaluation d'une simulation du modèle Périodot sur les U.S.A., P. DEGARDIN, M. IMBARD, Note de travail de l'EERM n° 192 (septembre 1987).

L'analyse objective Périodot, Y. DURAND, P. BOUGEAULT, Note de travail de l'EERM n° 193 (octobre 1987).

Prévision quantitative de la pluie et assistance météorologique, A. LE TROCQUER. Guide de prévision des crues, tome 2, groupe de prévision des crues, tome 2, Groupe de prévisions des crues (S.H.F.), (1987).

Adresse de l'auteur

Monsieur Y. Veyrier
Equipe Contrôle, Division Prévision
Météorologie nationale
2, avenue Rapp
75340 Paris Cedex 07
Tél. : 45.55.95.02

M. DUBAND : 3 questions : est-ce que la Météorologie Nationale a abandonné délibérément le recours à des modèles statistiques, en dehors de l'adaptation à des sorties de modèles ? D'autre part, quelle est la référence spatiale des contrôles que vous utilisez ? Enfin, quel est le nombre de pluviographes dont dispose la Météorologie nationale ?

M. VEYRIER : Avant le développement de Périidot, nous avions les mêmes diagnostics mais sur des modèles à grande échelle qui donnaient des résultats difficiles à utiliser. Les méthodes statistiques sont développées, mais l'investissement principal se fait sur les modèles numériques, coûteux en temps de calcul. Pour des raisons opérationnelles, le nombre de pluviographes utilisés pour les contrôles est d'une centaine : celui du réseau synoptique des stations de surface. Mais nous allons aussi développer des contrôles a posteriori avec le réseau secondaire.

M. DUBAND : Vous parlez de contrôles mensuels. Ce qui me choque est que vous ne fassiez pas référence à la climatologie journalière (de 6 à 24 h.).

M. VEYRIER : Le problème se trouve, d'une part, dans l'estimation du champ réel de précipitations et, d'autre part, dans le fait que nous ne disposons pas d'archives numériques des sorties du modèle.

M. THIRRIOT : A propos de la prise en compte approchée de l'hétérogénéité de la maille, est-il possible d'envisager l'utilisation des méthodes de prise de moyenne à l'échelle de la maille en introduisant des hypothèses de fermeture, comme cela est fait en turbulence ou dans la théorie des mixtures ou mélange ?

M. VEYRIER : Je ne suis pas spécialiste de la question. Je voudrais dire que Périidot ne peut décrire les phénomènes généraux de l'atmosphère à une échelle de l'ordre de 50 km, mais il peut à cette échelle décrire des précipitations liées à l'orographie par exemple. Actuellement, au niveau de la recherche, des modèles à mailles plus fines sont testés.

M. OBLED : Au niveau du contrôle, vous avez présenté plusieurs cartes comparant des pluies en 6 h observées et de pluies calculées « Périidot ». Or le modèle Périidot a des mailles de l'ordre de 1 000 km². Pouvez-vous préciser si, pour ces comparaisons, vous avez étendu les valeurs aux stations pour les rendre moyennes sur 1 000 km² ou vous avez transformé les valeurs Périidot en valeurs ponctuelles ?

M. VEYRIER : Les contrôles se font par images. Nous obtenons pour les précipitations réelles et les prévisions par maille un tracé d'isolignes manuel qui est valable à l'échelle régionale. Comme il n'est pas possible en fonctionnement opérationnel de représenter la situation réelle finement, ce sont ces cartes qui sont fournies au prévisionniste, et qui ont été utilisées pour apprécier le modèle Périidot.