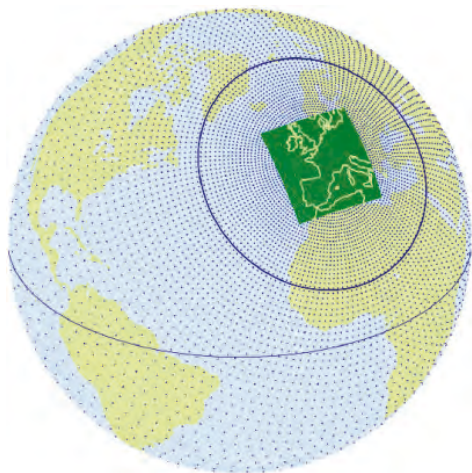




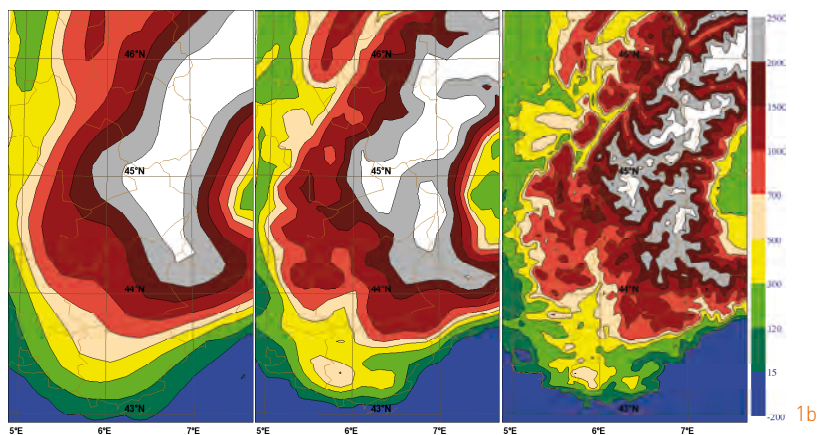
1a

Modèle numérique

Un modèle numérique de prévision du temps est un ensemble de programmes informatiques simulant le fonctionnement de l'atmosphère. L'atmosphère est représentée par ses principaux paramètres (pression, vent, température, humidité) en une multitude de points. Ce maillage est constitué d'une grille horizontale et d'un certain nombre de niveaux entre le sol et 60 000 m d'altitude. La distance horizontale entre deux points de grille est la « distance de maille » ou « maille » du modèle. Elle définit la précision du modèle. Pour effectuer une prévision du temps, le modèle détermine l'état présent de l'atmosphère en « assimilant » toutes les mesures

disponibles. Par des calculs complexes, les différentes mesures effectuées par les stations météorologiques, les avions, les navires, les satellites, les ballons... sont interpolées pour être affectées aux points de grille. Puis, à l'aide des équations de la dynamique des fluides et de la thermodynamique, le modèle procède, pas à pas, au calcul de l'état prévu de l'atmosphère à différentes échéances. Réduire la distance de maille permet de mieux représenter l'atmosphère dans son ensemble, ainsi que les phénomènes qui l'affectent. Par exemple, avec une maille de 10 km, les mouvements ascendants de l'air (qui donnent naissance aux nuages de type cumulonimbus)

sont compensés par les mouvements descendants. À cette échelle, l'atmosphère semble en équilibre. Le modèle ne « voit » donc pas ces mouvements verticaux et ne peut représenter les nuages qui les accompagnent. En revanche, avec une maille de 2,5 km, il devient possible de représenter explicitement ces mouvements. Mais réduire la distance de maille conduit à multiplier le nombre de points, le volume des données et surtout les temps de calcul. La distance de maille d'un modèle est donc un subtil équilibre entre la puissance de calcul disponible, le domaine géographique à couvrir et les délais pour obtenir la prévision.



1b

MICHEL HONTARRÈDE. MÉTÉO-FRANCE

ARPÈGE, ALADIN, ARÔME, UNE CASCADE DE MODÈLES POUR PRÉVOIR LE TEMPS

Ils ont pour nom Arpegge, Aladin et Arôme, le dernier-né. À eux trois, ils forment une véritable cascade de modèles numériques, imbriqués les uns dans les autres, prévoyant le temps respectivement sur le globe, l'Europe et la France, chaque modèle se nourrissant des prévisions du modèle supérieur.

ARÔME, UN PARFUM TOUT EN FINESSE

Aujourd'hui, prévisionnistes et chercheurs de Météo-France peaufinent les réglages et mènent les derniers tests du modèle Arôme, le plus précis des trois logiciels de prévision du temps. Bénéficiant de toutes les avancées et des connaissances en la matière, il a été conçu pour représenter les nuages les plus virulents – les cumulonimbus –, ce que ne savaient pas faire ses prédécesseurs. On espère ainsi améliorer la prévision des orages, des rafales, des précipitations et plus généralement prévoir plus finement le vent, la température, la visibilité... Pour atteindre cet objectif, la « maille », distance entre deux points de grille du modèle, est réduite à 2,5 km, quatre fois moins que son grand frère Aladin. La réduction de la maille apporte de nombreux avantages. Elle permet de mieux représenter le relief et la nature du sol. Ainsi, la modélisation varie en fonction de la portion de la maille d'Arôme qui peut être de type mer, ville, lac ou champêtre. Elle permet également d'« assimiler » les mesures des radars, des satellites et des 550 stations météorologiques de métropole (le réseau Radôme) pour enrichir la connaissance fine du temps présent. Enfin, à cette échelle, les mouvements verticaux de l'atmosphère qui donnent naissance aux cumulonimbus peuvent être représentés (voir encadré). Mais toute médaille a son revers. Avec une représentation aussi fine du relief et de la nature du sol, impossible de couvrir la Terre entière. Sinon les temps de calcul seraient

trop longs et la prévision pour le lendemain serait disponible trop tard pour pouvoir être utilisée par les prévisionnistes. Le domaine d'Arôme est donc limité à la France métropolitaine. Arôme reprend et affine une prévision à plus grande échelle, plus grossière, fournie par le modèle Aladin.

ALADIN, LE NOMADE

Avant l'arrivée d'Arôme, Aladin constituait le nec plus ultra en matière de modèle de prévision du temps. Si sa distance de maille (9,5 km) n'a pas changée depuis avril 2003, il a bénéficié récemment d'améliorations, notamment la prise en compte des radars, dont on tire des détails d'organisation du vent, ou de certaines mesures du satellite Météosat. À la différence d'Arôme, les cumulonimbus lui échappent totalement, mais il est capable de représenter les bandes pluvieuses liées aux fronts météorologiques, larges de quelques dizaines de kilomètres et longues de plusieurs centaines de kilomètres. Le domaine d'Aladin-France — près de 3 000 km de côté — englobe celui d'Arôme. Ses prévisions vont jusqu'à 60 heures d'échéance. Aladin a certes un domaine limité, mais il peut être facilement transporté partout dans le monde. Où qu'ils soient, ces « clones » d'Aladin sont « alimentés » par le modèle à couverture mondiale Arpegge. C'est une pratique couramment utilisée pour répondre aux besoins des armées appelées à intervenir sur des théâtres d'opération

1a Le modèle Arpegge couvre la Terre entière. Le modèle Aladin (en vert) affine ses prévisions sur l'Europe. Le modèle Arôme (non représenté) fait de même à partir des prévisions d'Aladin.

1b Le relief alpin vu par Arpegge, Aladin et Arôme. Plus la maille d'un modèle est fine, meilleure est la représentation du relief.

lointains – Côte d'Ivoire, Afghanistan – et pour les DOM-TOM. Il existe notamment une version d'Aladin centrée sur les Mascareignes utilisée par le service météorologique de La Réunion, responsable régional de la prévision cyclonique.

ARPÈGE, LE CHEF D'ORCHESTRE

En météorologie, on considère que pour prévoir le temps en France pour les deux jours à venir, il faut surveiller le temps qu'il fait sur l'Europe, la Méditerranée et l'Atlantique Nord. Pour pousser la prévision au-delà, il faut prendre en compte tout l'hémisphère Nord et, si on y ajoute l'hémisphère Sud, c'est encore mieux. Afin d'être en mesure de prévoir le temps sur la métropole jusqu'à quatre jours d'échéance, ainsi que sur les DOM-TOM, les zones maritimes associées, et sur toute région où les armées pourraient être amenées à intervenir, Météo-France dispose d'un modèle mondial. C'est le rôle d'Arpège. Ce modèle présente une focalisation originale sur le Proche-Atlantique et l'Europe : la « grille » qu'il utilise est plus fine dans cette partie du monde qu'aux antipodes. Récemment, le nouveau calculateur de Météo-France, en service depuis le printemps 2007, a permis de réduire la distance entre deux points de grille : 15 km au lieu de 23 sur la France, 86 km au lieu de 133 à l'opposé, dans le Pacifique. Sur la verticale, Arpège est passé de 46 à 60 niveaux, entre le sol et environ 60 000 m. Arpège élabore des prévisions jusqu'à J+3 inclus. Au-delà, Météo-France utilise le modèle IFS¹, mis en œuvre à Reading par le Centre européen de prévision météorologique à moyen terme (CEPMET). IFS pour la prévision lointaine, Arpège pour les tempêtes, Aladin pour les fronts, Arôme pour les orages, ces modèles constituent les maillons de la chaîne de prévision. Bénéficiant d'un code informatique commun, fonctionnant en cascade pour trois d'entre eux, toute amélioration de la qualité de l'un profite à la qualité de l'autre. Cependant, le dernier maillon avant diffusion de l'information est bien le prévisionniste. À lui de surveiller le fonctionnement de cet ensemble, de détecter et de corriger le plus tôt possible toute dérive. Car un modèle, aussi sophistiqué soit-il, reste un outil. Le prévisionniste anticipe les défauts et limites du modèle pour mettre une information claire et fiable à la disposition des usagers et des clients, correspondant parfaitement aux diverses attentes.

1_Le modèle IFS délivre des prévisions jusqu'à J+15 et met en œuvre une « prévision d'ensemble » afin d'en estimer l'incertitude. Notons que les modèles numériques IFS, Arpège, Aladin et Arôme sont bâtis autour d'un noyau de logiciel unique, maintenu de concert avec le Centre européen de prévision météorologique à moyen terme (CEPMET).

La France vue par Arôme

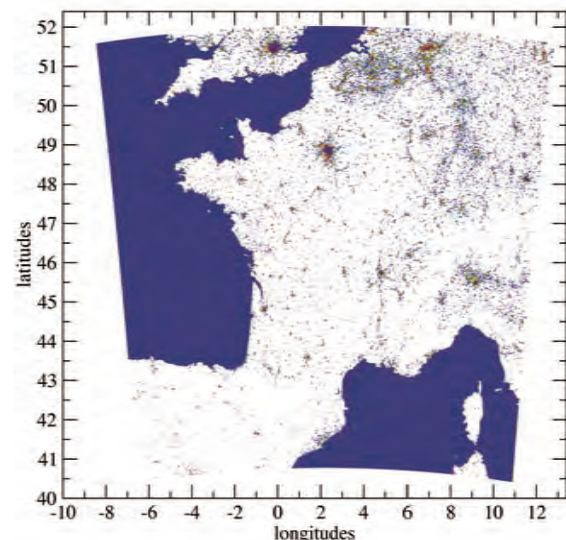
En forêt, le vent est moins fort qu'au milieu d'une prairie ; en ville, le béton accumule la chaleur du jour et la restitue la nuit ; en montagne, un sol couvert de neige se refroidit beaucoup plus ; en plaine, certains types de sols restent humides longtemps après la pluie et alimentent en retour l'atmosphère en vapeur d'eau ; autant d'exemples qui

montrent que la nature du sol a une grande influence sur les conditions météorologiques locales. Rien d'étonnant donc qu'Arôme sache, pour chacune de ses mailles, quelle est la nature de la surface : eaux fermées (lacs), eaux libres (mers et océans), surfaces urbanisées (villes, aéroports) et surfaces naturelles (végétation). De plus,

douze classes de végétation sont définies : sol nu, rochers, neige permanente, arbres à feuilles caduques, forêt de conifères, forêt de feuillus, culture d'été, culture d'hiver, cultures irriguées, prairies, prairie tropicale, parcs et jardins. Et comme la végétation se développe au printemps et que les arbres perdent leurs feuilles à l'automne, certains

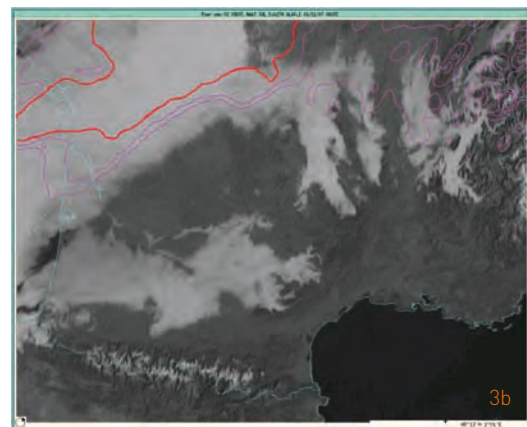
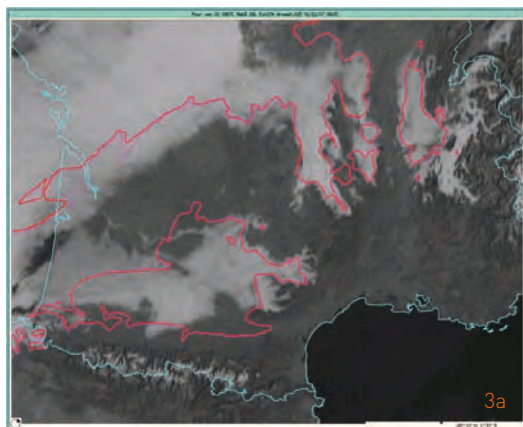
paramètres changent au fil des saisons. La base de données utilisée pour caractériser les mailles d'Arôme a pour nom Eoclimap. Elle est mondiale, les surfaces sont définies kilomètre-carré par kilomètre-carré et elle ne détaille pas moins de 250 écosystèmes différents. Des précisions supplémentaires au service d'Arôme.

2



2_Fractions urbanisées. Nombreux sont les paramètres météorologiques influencés par la nature du sol. Les modèles météorologiques les plus récents intègrent donc cette donnée. Ici, pourcentage d'urbanisation pour chacune des mailles (surface de 6,25 km²) du modèle Arôme.

Arôme et la prévision des nuages bas des résultats prometteurs



La première carte représente la moitié sud de la France, le 1^{er} novembre 2007 à 10 heures, vue par le satellite Météosat (3a). Les taches blanches sont des nappes de brouillard ou de nuages bas de type stratus, engendrant un temps gris humide avec risque de bruine. En dehors de ces zones blanches, le soleil brille. Sur cette image satellite, en surimpression, a été ajoutée la prévision du modèle Arôme faite la veille au matin (prévision à 27 heures d'échéance). Si Arôme était parfait, le trait rouge épouserait exactement le contour des taches blanches. C'est

pratiquement le cas sur le Massif central où Arôme fait bien la différence entre le temps humide des vallées et plus sec des plateaux. L'outil est un peu moins performant sur les Charentes, le Médoc, les Landes et, plus à l'est, sur une partie des Alpes, mais l'essentiel de l'information est donné. À titre de comparaison, nous avons ajouté la même situation vue par le modèle Aladin (3b). C'est nettement moins détaillé. Aladin ne voit rien des nuages bas du sud-ouest de la France. Il distingue seulement une zone à forte probabilité de nuages bas sur le Poitou-Charente (trait rouge).