

Proposition de cahier des charges pour un projet ARPEGE/ALADIN

November 1991

French version only.

Table des matières

1. De l'intérêt d'ARPEGE/ALADIN

2. Spécifications d'environnement

3. Spécifications fonctionnelles

4. Vue d'ensemble du calendrier

1. De l'intérêt d'ARPEGE/ALADIN

Suite à l'atelier de réflexion du 22 février sur la « Modélisation à Maille Fine et Aire Limitée », des groupes de travail ont rendu leurs conclusions vers la mi-juillet. Parmi les propositions faites par ces groupes, la nécessité de définir un cahier des charges pour une version à domaine limité d'ARPEGE était particulièrement mise en valeur.

Rappelons tout d'abord les conclusions des groupes 1 et 3. Elles forment la base d'une justification pour un nouveau modèle à domaine limité pour la prévision opérationnelle et la recherche à Météo-France :

- couvrir les besoins en adaptation dynamique et en simulation à la limite de l'approximation hydrostatique, avec une échelle courante de 10 km, plus précisément.
- simuler à cette échelle des situations de campagnes expérimentales à partir d'analyses par ARPEGE très étiré et confronter les résultats à des données fines.
- étudier la prévisibilité à cette échelle obtenue par un système couplé basé sur ARPEGE opérationnel.
- effectuer des simulations (à toutes les échelles) de situations idéalisées pour faire avancer des points de théorie dans une géométrie simple.
- enfin, jeter les bases d'un outil de simulation commun avec d'autres groupes de recherche sur l'échelle moyenne.

Ces propositions s'inscrivent dans une stratégie devant conduire à une décision sur la prévision opérationnelle à cette échelle de 10 km fin 1993. Les autres éléments de cette stratégie comprennent l'évaluation des possibilités d'ARPEGE extrêmement étiré pour l'assimilation des données et la prévision.

Dans le même temps, Météo-France apporte un nouvel élan à ses équipes de prévision numérique en leur donnant une dimension internationale. Diverses collaborations sont donc en cours avec des groupes de toutes tailles et de tous niveaux d'expérience. Nous mentionnerons donc ici spécialement l'action mise en place avec des Pays d'Europe Centrale et Orientale.

Dans le cadre de cette action, sept personnes en moyenneseront présentes au GMAP pour des séjours de trois ou six mois renouvelés en général une fois d'ici à la fin 1992. Les nationalités représentées sont la Tchécoslovaquie, la Hongrie, la Roumanie, l'Autriche, la Pologne et la Bulgarie. Leur but est de mettre à niveau leur savoir faire en participant activement à un projet de développement proche de leurs besoins opérationnels en prévision numérique.

Ceux-ci comprennent d'une part l'accès à un modèle global pour la prévision synoptique (Centre Européen pour l'Autriche, diffusion de nos propres produits dans d'autres cas) qui pourrait évoluer en un accès à des fichiers de couplage. D'autre part, l'adaptation dynamique de ces prévisions à un relief et à des conditions locales complexes.

Ce dernier aspect recoupe assez bien la volonté de développer une version à domaine limité d'ARPEGE évoquée plus haut. Il convient toutefois de noter :

- l'aspect exploratoire de la démarche interne de Météo-France contrastant avec un objectif opérationnel précis quant à son engagement international.
- la brièveté du calendrier de cet engagement international créant une urgence qui n'existe peut-être pas du côté de la recherche française. (Cette urgence existe sans doute, toutefois, au niveau de l'exploitation en région).
- la très grande brièveté et le grand nombre de séjours des participants étrangers à opposer à un travail reposant sur une technologie logicielle de tout premier plan, délicate, qui nécessite une formation longue et un investissement personnel considérable pour être maîtrisée.

Tel est le cadre général conduisant aux spécifications qui suivent. Ce cadre est entièrement résumé dans le nom du projet : ARPEGE/ALADIN. Il s'agit d'une version d'ARPEGE (à) Aire Limitée (pour l') Adaptation dynamique (par un) Développement InterNational.

Une documentation scientifique de la phase de développement initiale, centrée sur l'adaptation dynamique, suivra prochainement les spécifications.

2. Spécifications d'environnement

2.1. Formats et fichiers

Mise au point d'un format des fichiers ARPEGE adapté à la représentation spectrale choisie : il n'existe que des versions pour des points de grille et des coefficients spectraux dans une troncature triangulaire. Implantation de ce format dans les logiciels LFI et fichiers ARPEGE, diffusion en aval vers les diverses bases de données. Il n'est pas prévu de modifier le code et le format GRIB qui seront utilisés en l'état.

Enrichir le parc de fichiers de données géographiques (relief moyen et sa variance, nature du sol, végétation, etc...) ainsi que l'interface de lecture du programme actuel alimentant ARPEGE-Climat et ARPEGE opérationnel.

Adapter les options de sortie du même programme à la production d'un fichier extrait sur domaine limité sur une portion de sphère avec axes géographiques tournés ou sur une projection conforme (voir géométries).

Possibilité d'imposer un champ de relief calculé extérieurement à ce programme.

Adapter les fichiers ARPEGE à ou aux géométries retenues :

- portion de sphère.
- projection conforme.
- possibilité de manipuler des plans verticaux en géométrie plan vertical.

Compléter l'utilitaire de conversion fichier ARPEGE destiné à permettre d'interpoler des champs d'une certaine troncature avec étirement à une autre avec un autre étirement, ainsi que des niveaux différents en nombre et en position, par une sortie compatible avec les géométries d'ARPEGE/ALADIN. Le passage de données anciennes à ARPEGE/ALADIN se fera à travers des fichiers ARPEGE pour la sphère, éventuellement très étirée : on ignore les formats SFIC et PERIBRUT.

Les champs devront être adaptés à une représentation spectrale (voir représentation des champs). On prendra soin de limiter cette fonctionnalité à un sous-programme unique et général, intégré à ARPEGE. Ceci a des conséquences sur tous les points précédents.

2.2. Code et environnement ARPEGE

Assurer la plus grande communauté possible entre ARPEGE très étiré et ARPEGE/ALADIN au niveau :

- de la formulation des équations, en particulier en points grille.
- du traitement graphique des sorties, incorporant la possibilité de représenter automatiquement, mais optionnellement, un fond de carte géographique minimal (quelques latitudes en longitudes, ligne de côtes).
- des diagnostics (en particulier par domaines horizontaux).
- des procédures de lancement, de gestion et de traitement graphique.
- idéalement, communauté de bibliothèque source (version intégrée d'ARPEGE).

Il apparaît nécessaire, en outre, de disposer d'un modèle unidimensionnel sur la verticale compatible avec la dynamique en points de grille d'ARPEGE, utilisant rigoureusement la même interface avec les paramétrisations physiques et maintenu avec ARPEGE, même s'il s'agit d'un programme indépendant (un tel modèle, mentionné ici pour mémoire, relève du projet ARPEGE et non spécifiquement d'ARPEGE/ALADIN).

3. Spécifications fonctionnelles

3.1 Fourchette visée pour le coût dans une application opérationnelle

L'indication donnée repose sur une estimation relativement à ARPEGE opérationnel, considéré comme la référence. Une estimation absolue demande de connaître les performances de la machine de pointe sur laquelle tournera la chaîne de modèles, point que l'on laisse ouvert pour le moment.

On envisage donc des adaptations (sans assimilation de données) jusqu'à 36 heures. La résolution serait celle d'ARPEGE opérationnel au centre du domaine divisée par 2 (disons de l'ordre de 10 à 15 km). Avec un schéma semi-Lagrangien et sur un domaine de 2500 km de côté environ (1/2 pays + 800 km de marge comme demi-côté), on estime que 24 heures d'adaptation devrait coûter environ cinq fois moins cher que 24 heures d'ARPEGE étiré (soit autour de 4 minutes pour 24 heures).

3.2. Géométries

ARPEGE/ALADIN est un modèle hydrostatique intégrant les équations primitives en coordonnée pression dite « hybride » h , a priori pour un fluide compressible confiné au sommet par une surface telle que $h = 0$, où h est la vitesse verticale généralisée.

ARPEGE/ALADIN doit pouvoir être intégré :

- sur un domaine cartésien plan avec un maillage régulier entraîné en rotation uniforme ou non.
- sur une portion quelconque de la sphère terrestre recentré sur l'équateur d'un système de coordonnées géographiques de substitution et éventuellement sur une portion quelconque de la sphère en projection conforme.
- dans un plan vertical avec

$$\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = 0$$

- et un forçage dynamique : relief, barocline uniforme. Cette version doit être rigoureusement intégrée au modèle tridimensionnel afin de contribuer directement à sa validation.

3.3. Variable d'état pronostique et représentation des champs

La variable d'état pronostique d'ARPEGE/ALADIN sera $\{u_\phi, v_\phi, T, q, p \text{ ou } \ln p\}$, où ϕ désigne une composante (éventuellement) projetée. Ce choix est en fait imposé par la nécessité de faire explicitement évoluer la valeur moyenne du vent sur le domaine.

Les options actuelles d'ARPEGE permettant d'ajouter des variables advectées supplémentaires seront soigneusement préservées. A plus ou moins long terme seront ajoutés l'énergie cinétique turbulente, une ou plusieurs variables d'eau liquide, flux de masse convectif et nébulosité, des traceurs chimiques, etc...

Les champs de la variable d'état dynamique sont projetés sur une base spectrale bi-Fourier tronquée :

$$Q(x, y) = \sum_{m = -M}^M \sum_{n = -N}^N Q_m^n e^{imx} e^{iny}$$

Q est une variable quelconque. Les variables x et y sont les coordonnées horizontales symboliques non dimensionnelles. Elles varient entre 0 et 2π . Ce sont des fonctions plus ou moins compliquées de la longitude et de la latitude selon la géométrie employée. Ces relations doivent être explicitées pour le calcul des dérivées et seront précisées dans la documentation à venir.

La forme discrète correspondant est :

$$Q_{j,k} = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=-N}^N Q_m^n e^{im 2\pi j / J} e^{in 2\pi k / K}$$

où M et J désignent respectivement la troncature et le nombre de points de la grille de collocation dans la direction x . Il en va ainsi des paramètres N et K selon y . $Q_{j,k}$ est la valeur au pont de grille d'indices (j,k) .

Cette représentation s'applique directement aux champs dans des expériences idéalisées sur un plan cartésien. Elle demande un traitement particulier, appelé bi-périodisation, pour les autres applications. Plusieurs solutions pratiques ont été réalisées avec succès. Tout d'abord, une approche très pragmatique au sein du groupe HIRLAM. Elle utilise les valeurs des champs et de leurs dérivées aux extrémités du domaine utile paramétrant une fonction prescrite. K. Yessad a, de son côté, mis au point une méthode plus globale, une minimisation de l'erreur d'approximation par une méthode des moindres carrés. Quelle que soit la technique retenue, elle fera l'objet d'un module spécifique dans ARPEGE/ALADIN. Par rapport à un modèle en points de grille, la grille de collocation du modèle d'HIRLAM comprend un peu moins de 30 % de points supplémentaires pour assurer la bi-périodisation.

3.4. Conditions aux limites

Pour la version tridimensionnelle :

- champs effectivement bi-périodiques.
- relaxation de type Davies de la solution « intérieure » vers des valeurs imposées aux bords. Les champs de couplage doivent pouvoir évoluer dans le temps. Cette relaxation sera de type « Dirichlet », portant sur les champs et non les gradients.
- possibilité de conditions mixtes, de type Davies dans une direction et bi-périodique dans l'autre.
- explorer la faisabilité d'un modèle de type canal, reposant sur une base spectrale assurant que les champs et toutes leurs dérivées s'annulent vers les bords latéraux.

Pour la version bi-dimensionnelle :

- champs périodiques selon x .
- imposés à travers une relaxation de type Davies.

3.5. Schémas d'intégrations temporelles

On s'en tiendra avant tout au schéma saute-mouton d'ordre 2 avec possibilité de corrections semi-impliées de l'ajustement à la gravité.

Toutefois, on s'efforcera de préserver la possibilité d'adapter dans une étape ultérieure un des schémas semi-Lagrangien développés pour ARPEGE sphérique au Centre Européen ou au CRMD-GMAP.

On explorera la faisabilité des idées suivantes :

- établir un flux de données alternatif basé sur un schéma d'advection assurant la positivité des champs pour certaines des variables supplémentaires citées plus haut.
- relâcher la condition de limitation de l'aliasing de manière à traiter plus correctement les effets du relief, au prix d'un traitement dégradé de l'advection. Cette idée prend tout son sens avec un schéma semi-Lagrangien, mais elle sera explorée si possible indépendamment.

3.6. Initialisation

Les conditions initiales dans les applications sur l'adaptation seront obtenues à partir de champs initialisés. Mais les interpolations, avec en particulier la prise en compte d'un relief accidenté, introduiront un niveau de bruit qui sera peut-être non négligeable.

Dans la mesure où l'on exclut le volet assimilation des données, ce niveau de bruit sera peut-être acceptable. Toutefois, on explorera le potentiel d'une forme de filtre digital adapté à la météorologie récemment proposé par P. Lynch. La fonction de filtrage (temporel) est définie à l'avance. L'initialisation consiste à appliquer cette fonction à une intégration préalable du modèle d'une durée égale à celle de la période de coupure, encadrant autant que possible l'instant initial.

L'adaptation de l'algorithme d'initialisation non linéaire par modes normaux implicites, dernier recours en cas d'absolue nécessité, algorithme mis en place par P. Marquet, fera l'objet d'une expertise. On sait toutefois que cette méthode possède à peu près les mêmes limitations que celle de Machenhauer : elle risque donc de ne pas résoudre le problème posé par l'adaptation à une forte orographie.

3.7. Analyse et assimilation des données

ARPEGE/ALADIN pourra éventuellement incorporer une adaptation d'un ou des schémas d'analyse objective disponibles dans ARPEGE, l'interpolation optimale CANARI ou l'analyse variationnelle, dans une phase ultérieure de développement.

3.8. Autres caractéristiques

Analyse de la faisabilité d'une condition à la limite supérieure telle que la vitesse verticale h soit non nulle, fonction du spectre du géopotentiel.

4. Vue d'ensemble du calendrier

4.1 Définition de phases

L'ensemble des spécifications représente un travail de développement et de validation conduisant facilement à l'échéance de la fin de 1993. Toutefois, le plan de développement n'apparaît clairement que pour la première année, d'ici à la fin 1992. On se trouve donc devant un projet comportant au moins deux phases bien distinctes :

- une phase initiale centrée sur le modèle et l'adaptation dynamique.
- une phase ultérieure, comportant des volets de validation, de maintenance et éventuellement de développement sur l'assimilation de données ou d'autres sujets. Les partenaires de cette phase sont à trouver.

Pour réaliser la phase initiale, interviendront les stagiaires du GMAP venus des Pays d'Europe Centrale et Orientale à partir de maintenant et au moins jusqu'à la fin de 1992, encadrés comme le prévoit la directive EERM 508 du 17 septembre 1991.

Noter que pour tout ce qui, dans les spécifications, entraîne une modification d'ARPEGE, le nombre et la brièveté des séjours ne sont pas des avantages. Cette équipe s'en tiendra donc aux modifications minimales permettant de disposer d'un outil d'adaptation dynamique totalement compatible avec l'environnement ARPEGE. Toutefois, ses choix techniques laisseront ouvertes les options contenues dans l'ensemble du

cahier des charges.

Le rôle du GMAP et/ou de la subdivision de PREVI/COMPAS, la venue d'autres partenaires éventuels dans la maintenance et la poursuite du projet ARPEGE/ALADIN après le départ des stagiaires d'Europe Centrale sont des points à clarifier, ainsi que la manière de garder le contact avec les artisans initiaux d'ARPEGE/ALADIN. Ceci se fera au fil du suivi du projet.

4.2. Suivi du projet

Le suivi des progrès du projet sera assuré par Mr (Mme, Melle) xxx, bien connu de nos services.

Pendant la phase initiale, on peut prévoir trois rendez-vous :

- la conclusion de l'analyse technique en cours, en janvier 1992.
- le codage de base sur ARPEGE version 8, terminé par la force des choses en mai 1992.
- l'entrée dans la phase de validation après transposition dans la version 9 d'ARPEGE, disons en septembre 1992.