

## Réponses aux questions adressées par DP/SERV sur l'utilisation de Méso-NH

### Domaines :

1. *Y a t'il une taille minimum de domaine à respecter lorsque celui ci est forcé par un modèle de grande échelle ? A quelle distance du bord du domaine doit se trouver la zone d'étude pour que les effets de bords soient négligeables et que la physique qui y domine soit celle de MNH ? Est ce que ça dépend du phénomène météo simulé, du lieu ?*

La taille minimale est d'une part déterminée par le fait que les conditions aux limites latérales (CLL) ne doivent pas trop contraindre la simulation sur le domaine intérieur. On utilise dans Méso-NH des CLL radiatives, permettant d'évacuer les oscillations numériques aux frontières, modifiées par l'équation de Carpenter, autorisant ainsi un rappel vers la solution de grande échelle. Mais ce rappel est progressif et n'entache pas la solution intérieure, comme le font des CLL de type « Davies » plus brutales pour imposer le rappel vers la solution du modèle coupleur.

Avec les CLL de Méso-NH, on peut estimer qu'une couronne de 5 points est suffisante près des bords, et donc un domaine de 30 points \* 30 points horizontalement constitue une taille minimale de domaine. Mais il n'y a pas d'impossibilité technique à utiliser un domaine plus petit, notamment pour réaliser des tests.

Ces considérations ne dépendent pas du phénomène météorologique étudié ni du lieu.

D'autre part, une autre limite est liée à la représentation des phénomènes à déplacement rapide (par exemple les fronts), le forçage par les analyses contenant alors une structure mobile que l'on veut pouvoir suivre dans le modèle 1. Il faut alors respecter un lien entre la taille du domaine de simulation et la fréquence de rafraîchissement des analyses. En effet, la technique utilisée interpole dans le temps entre 2 analyses, et représente mal une structure qui se déplace de façon significative entre 2 analyses. La solution préconisée est que la distance de déplacement de la structure dans le temps de rafraîchissement entre 2 analyses reste petite par rapport à la taille du domaine de simulation du modèle 1. Si un front se déplace à la vitesse  $C_f$ , et si les analyses sont données à cadence  $Dt$ , la taille du domaine  $L$  de modèle 1 doit être telle que :  $L \gg C_f \cdot Dt$ . Par exemple, si les analyses sont fournies toutes les 6h ( $Dt$ ), et si un front va à 50km/h ( $C_f$ ), le domaine de modèle 1 doit être environ 5-10 fois le produit  $C_f \cdot Dt$  soit 1500 à 3000km. Sinon, il faut que les analyses soient plus fréquentes, toutes les 3h voire 1h. Ce problème n'existe pas pour les modèles nestés car le nesting s'applique à tous les pas de temps.

Enfin, une autre limite à la taille du domaine, cette-fois-ci maximale, pourrait provenir des équations, avec l'état de référence de l'hypothèse anélastique, qui est constant et stationnaire sur tout le domaine, pris comme la moyenne spatiale de l'état initial.

2. *Quels sont les datum utilisés dans MNH ? peut on comparer une donnée localisée à l'aide du GPS dans le datum WGS84 avec une donnée de mêmes coordonnées dans MNH ?*

Il y a des différences sur les coordonnées géographiques d'un point de la terre, suivant que l'on représente la terre comme une sphère (comme dans Méso-NH) ou comme une ellipsoïde (WGS84 dans le système géodésique). Les caractéristiques des 2 types de représentation sont données dans le tableau ci-dessous.

	Base de données SIG développée par IGN	Système géographique Méso-NH
Représentation mathématique de la Terre	Ellipsoïde Clark 1880 IGN : 1. $a=6378.2492$ km 2. $b= 6356.515$ km 3. $X^2/a^2 + Y^2/b^2 = 1$	Sphère : 4. Rayon de la sphère $R= 6371$ km 5. $X^2 + Y^2 = R^2$
Projection utilisée sur surface plane	Projection Lambert 2 Etendue	Projection de Lambert, stéréographique polaire ou Mercator

Ionescu et Ursache (2003) ont estimé l'erreur sur la latitude entre l'ellipsoïde de Clark et la sphère (Fig. 1), qui est maximale de l'ordre de  $0,1^\circ$  à la latitude de  $45^\circ$ . Cela correspond à une différence de près de 11 km sous nos latitudes entre deux points de même coordonnées entre les datum sphérique et WGS84.

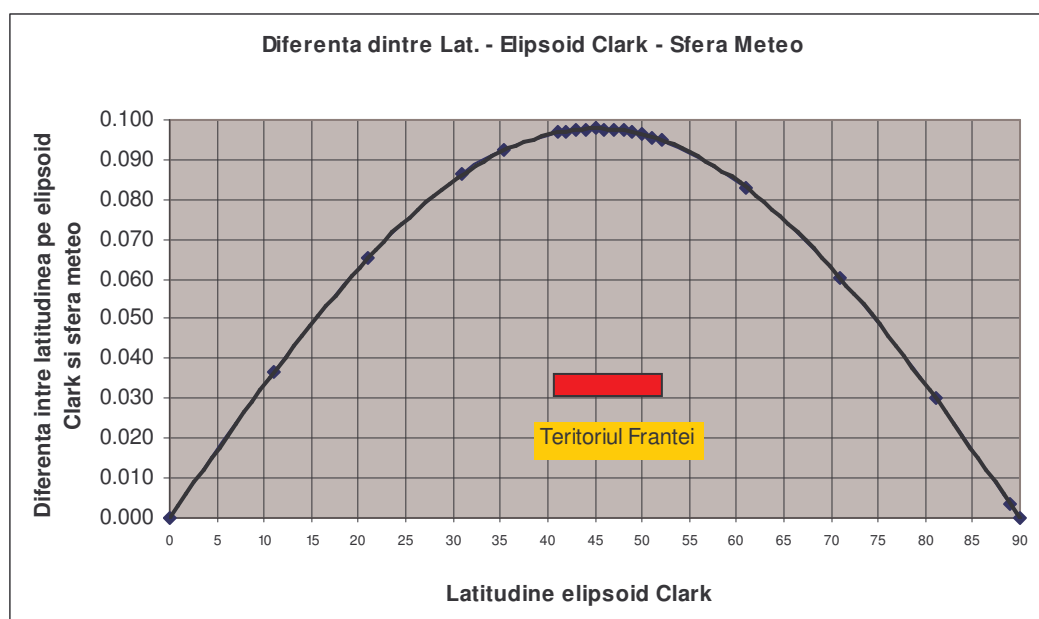


Figure 1 : Différence entre la latitude de l'ellipsoïde de Clark et la latitude de la sphère météorologique.

Cependant lorsque l'on compare données simulées et observées en un point de coordonnées fournies dans le datum WGS84, les positions par rapports au relief (positionnement relatif) dans le modèle ou en réalité sont les mêmes. Le décalage de positionnement dans WGS84 par rapport à la sphère est compensé parce que le même décalage est appliqué au relief : le positionnement relatif est conservé. A noter que non seulement le relief de gtopo30 mais également les données d'Ecoclimap sont définies par rapport à WGS84.

Dans Méso-Nh, les calculs sont réalisés dans des projections conformes, basées sur un datum sphérique. La projection conforme est en effet un intermédiaire de calcul qui permet de se placer dans des domaines de résolution à peu près constante. On n'ajoute pas d'erreur au positionnement des points dans Méso-Nh lors de la projection (bijection datum  $\leftrightarrow$  projection), mais aux différentes forces liées au repère (Coriolis ...). Donc les seules erreurs liées au positionnement se trouvent dans la dynamique où l'on fait l'hypothèse de la sphéricité de la terre.

Lorsque l'on fournit des données lon/lat, on peut donc affirmer qu'elles sont fournies dans le datum WGS84. Un extérieur ne peut à priori pas reconstituer la projection de calcul puisqu'il s'agit dans Méso-Nh d'une combinaison entre un relief WGS84 rapporté (sans transformation) à la sphère et une projection conforme liée au datum sphérique. Il ne pourra pas intégrer les données directement dans une grille régulière liée à une projection au risque cette fois d'introduire une erreur de positionnement relatif. Il devra donc projeter lui-même les données.

A noter enfin que ces considérations sont les mêmes pour l'ensemble des modèles NWP de Météo-France (Arpège/Aladin).

3. *Quelles projections choisir ? et pourquoi ? impact sur la validité de la simulation ?  
Extension limite de domaine avant dégradation des résultats ?*

Trois projections conformes sont disponibles dans Méso-NH : Mercator adapté aux latitudes tropicales, Lambert aux latitudes tempérées, Stéréographique polaire aux latitudes polaires. Plus le domaine s'écarte du point de référence de la projection (défini par XLON0, XLAT0), plus la distance de maille sur la sphère s'écarte de la distance sur le plan conforme (déformation mesurée par le facteur de carte m). Ainsi le nombre d'itérations pour le calcul de la pression augmente (voir 17 ci-dessous), et on s'écarte de l'état de référence calculé initialement (voir 1 ci-dessus). Des exemples de domaine de simulation sont visibles sur le site web : <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/mesonh/>

4. *Comment positionner un domaine MNH par rapport à un relief, à la côte, à un type de temps ?*

Il faut éviter que le relief, le bord de côte, ou le phénomène météorologique à l'initialisation, se situe en bordure du domaine, puisque cela ne permettrait pas de prendre en compte, de manière satisfaisante dans toutes les directions, les circulations associées.

5. *Y a t'il des directions privilégiées dans le modèle ? si oui, comment positionner au mieux un domaine (relief/trait de cote perpendiculaire a une direction privilégiée, vallée dans l'axe d'une direction privilégiée, type de projection, situation synoptique étudiée)*

Il n'y a pas de direction privilégiée, mais les rotations de domaine sont peu utilisées. Elles permettent cependant d'optimiser la taille d'un domaine quand la direction zonale du domaine coïncide avec la direction du flux du phénomène à étudier.

### **Résolutions :**

6. *MNH étant un modèle de méso-échelle, y a-t-il une résolution minimale à respecter pour garantir la validité des paramétrisations ? (10 km , 40 km, 100 km ?)*

Il n'y a pas de résolution minimale à respecter du point de vue des paramétrisations. Suivant la résolution, il faut adapter les options des paramétrisations.

A titre indicatif, on peut juste signaler qu'il est préférable que la convection profonde soit activée aux résolutions plus lâches que 5km, alors que la convection peu profonde s'avère encore nécessaire jusqu'à 2km : AROME active une convection peu profonde, qui, combinée à la turbulence et à un schéma statistique de nuage –la condensation sous-maille (LSUBCOND)- permet de mieux représenter les nuages peu profonds de couche limite, type Cu et Sc.

La turbulence 3D ne s'avère nécessaire qu'à des résolutions plus fines que 1km : la turbulence 1D est suffisante au dessus.

7. *Il existe une zone grise pour résoudre correctement la convection profonde entre 8km et 3km de résolution. Peut-on utiliser MNH dans ces résolutions ? si oui quand doit-on déclencher la paramétrisation de la convection profonde ?*

La notion de zone grise pour la convection profonde est générale à l'ensemble des modèles de méso-échelle. La valeur limite nécessitant l'activation de la paramétrisation de la convection profonde est approximativement autour de 5km, et est légèrement variable suivant la zone d'étude : on peut par exemple estimer que, sur l'Afrique de l'Ouest, les systèmes convectifs sont de dimensions suffisamment larges pour que la convection soit explicite en dessous de 8km de résolution, ce qui n'est pas le cas des systèmes convectifs des latitudes tempérées. Quant à la convection peu profonde, il semble nécessaire de la paramétriser entre 2km et 5km, pour prendre le relais de la turbulence et représenter correctement les cumulus, et permettre ainsi les interactions d'échelle, entre les petits tourbillons de couche limite et les gros tourbillons de la convection profonde.

8. *Existe t'il d'autres zones grises (turbulence 3D ou 1D entre 3km et 500 m de résolution ...) ? Bref quels sont les types d'imbrication préconisés (12-3-0.5 km ? 12-3-1-0.25km ?) et les namelists associées*

Chaque paramétrisation possède sa zone grise, représentant la zone de transition entre la représentation implicite et explicite des phénomènes. Pour la turbulence, on sait, par expérience dans Méso-NH, que la résolution kilométrique est délicate car la représentation implicite des tourbillons est généralement insuffisante : les mouvements résolus peuvent prendre le relais, et faire apparaître des structures irréalistes de rouleaux de couche limite. Les imbrications souvent utilisées sont 12/3/0.5 km, 10/2.5km, 8/2/0.5km, sachant qu'un ratio de 6 entre les résolutions constitue une valeur maximale.

9. *Quelles préconisations sur les zones tampons du grid nesting ?*

Il n'y a pas de zone tampon pour le grid-nesting. En one-way comme en two-way, les domaines interagissent par des opérateurs d'interpolation ou de moyenne sur tout le domaine de recouvrement, sans traitement particulier aux limites latérales.

10. *Y a t'il un facteur d'échelle maximum à respecter entre un domaine père et son fils ? entre un modèle coupleur et MNH ? y a t'il un impact sur la taille des domaines ?*

Un ratio de 6 entre les résolutions des modèles emboîtés constitue une valeur maximale et 3 ou 4 une valeur optimale. Entre un modèle coupleur et Méso-NH, ce ratio doit être inférieur,

afin que Méso-NH puisse établir sa propre circulation de plus grande échelle. On peut même chercher sur le 1<sup>er</sup> domaine Méso-NH à reproduire une résolution proche du modèle coupleur, notamment si les conditions synoptiques pilotent l'écoulement : sur les simulations MAP, une configuration fréquemment utilisée à partir des champs du CEPMMT est 32km/8km/2km.

11. *Dans l'état actuel de l'art est-il judicieux de descendre à 250 mètres de résolution ? (Ecoclimap est à 1km de résolution, pb du masque terre/mer à 1km de résolution ...)*

Sur la France métropolitaine, on dispose du relief IGN à 250m. Mais les COVER d'ECOCLIMAP sont à résolution globale de 1km. Or les COVER sont utilisés pour calculer l'indice terre-mer, et ce dernier modifie le relief, pouvant mener à des inconsistances de relief le long du littoral.

12. *Quelle résolution verticale adopter pour simuler au mieux la couche limite ? dépendances avec la zone d'étude et le type de temps à simuler ? Quelle extension verticale doit avoir le domaine ? dépendances avec la zone d'étude et le type de temps à simuler ?*

Cela dépend du phénomène à étudier. Un brouillard nécessite une résolution verticale fine dans les 200 ou 300 premiers mètres, un stratocumulus nécessite une bonne résolution à l'inversion au sommet de la couche limite ... Une simulation plus « généraliste » sur l'ensemble des phénomènes de la troposphère doit rassembler l'ensemble de ces caractéristiques. Dans tous les cas, même si l'on se focalise sur les tous premiers niveaux de la couche limite, il est nécessaire que la grille verticale s'étende jusqu'à la partie supérieure de la troposphère, pour que le schéma de rayonnement agisse correctement.

### **Paramétrisations**

13. *Quand doit on déclencher la paramétrisation des différentes phases de l'eau ? (quel est l'impact sur la représentation d'un nuage d'orage, ...) dépendances avec la zone d'étude et le type de temps à simuler ?*

La présence de glace (ICE3) est nécessaire si l'on traite une situation d'hiver, ou s'il est important de bien traiter la moyenne et la haute troposphère. Les processus microphysiques associées aux particules glacées (glace primaire, neige, neige roulée) sont essentiels pour reproduire un système convectif intense. A l'inverse, une situation de brouillard (non givrant) n'impose pas un schéma avec glace et le schéma de Kessler (KESS) convient. ICE3 est le schéma microphysique actuel de AROME. La grêle est introduite, en plus des autres espèces glacées, dans le schéma ICE4 : des simulations sur la campagne MAP ont montré sa pertinence sur des systèmes orographiques, avec un meilleur accord aux observations, sans toutefois modifier significativement la dynamique du système. Pour l'ensemble des schémas précédemment cités, dits « schémas à 1 moment », seul le rapport de mélange des espèces est pronostique, et leur concentration est diagnostique. Les propriétés optiques des nuages sont alors paramétrées (rayon effectif, albédo de diffusion simple, épaisseur optique, facteur d'asymétrie ...). Pour des études de processus, il s'avère nécessaire d'utiliser un schéma à 2 moments pour lequel la concentration des espèces est pronostique, et est prise en compte dans le schéma radiatif pour calculer les propriétés optiques des nuages. Il est bien sûr plus coûteux en temps de calcul. Actuellement, Méso-NH ne dispose que de schémas à 2 moments traitant

de la microphysique chaude (C2R2, et KHKO introduite en masdev4\_7 pour les Sc). Le schéma à microphysique mixte C3R5 n'est pas encore disponible dans une version officielle du modèle.

*14. Gestion de la paramétrisation du rayonnement (pas de temps d'appel, ...)*

Le schéma de rayonnement, comme dans tous les modèles de prévision, est coûteux en temps de calcul, il est donc commun de ne pas l'appeler à tous les pas de temps, et de considérer les flux radiatifs constants entre 2 appels (XDTRAD) (voir 18 ci-dessous). Un grand intervalle entre 2 appels est justifié à grande échelle (typiquement l'heure) quand la couverture nuageuse évolue lentement. A plus fine échelle, une inconsistance peut apparaître entre les flux radiatifs et les champs de précipitation : on peut par exemple avoir des taux de fortes précipitations et une insolation de ciel clair en même temps pour la même colonne, si le nuage de pluie a été advecté après les calculs radiatifs. Toutefois, un appel au schéma de rayonnement toutes les 15 min semble raisonnable à méso-échelle. Une option permet d'activer le rayonnement plus souvent pour les colonnes où des changements de la couverture nuageuse sont significatifs (XDTRAD\_CLONLY).

*15. Différences de configurations pour une simulation sur terre, sur mer, à la côte, en montagne, aux tropiques, aux hautes latitudes...*

Les différences de latitude impactent essentiellement le choix de la projection (Mercator pour les Tropiques, Stéréographique ou Lambert pour les latitudes tempérées, voir 3 ci-dessus). Concernant Méso-NH, il n'y a pas de différence importante suivant le type de surface : il peut être nécessaire de diminuer le pas de temps en zone montagneuse. Concernant la surface externalisée, la position géographique est prise en compte à travers le type de couvert végétal. Les calculs sont faits ensuite point par point (1D), le temps de calcul dépend des options choisies.

**Optimisation**

*16. Quels sont les pas de temps préconisés pour chaque résolution standard ?*

Des exemples de fichiers de namelist sont présents sur le site web <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/mesonh/>.

A titre d'exemple, actuellement le pas de temps est de 4s pour une maille horizontale de 2 km.

*17. Quel est le nombre d'itérations optimal préconisé pour le calcul de la pression ? (dépendances avec les phénomènes étudiés, le lieu ?)*

A la fin de l'étape initiale (prep\_ideal\_case ou prep\_real\_case) est indiqué le nombre d'itérations qui a été utilisé pour la convergence du solveur de pression (valeur qui augmente avec l'extension méridienne du domaine, la présence de fortes pentes, un fort stretching de la grille verticale). C'est la valeur qui est conseillée pour la simulation qui va suivre (elle devient le défaut de NITR dans le .des du fichier). Cependant la valeur optimale pour la simulation peut être inférieure (la diminuer si dans le retour de simulation la divergence résiduelle



(« residual divergence ») est inférieure à  $10^{-9}$ ). Dans la version masdev4\_7, l'option LITRADJ permet au programme d'adapter le nombre d'itérations au cours de la simulation : l'utilisateur n'a donc plus à gérer cette valeur.

18. *Impact des paramétrisations utilisées sur le temps de calcul ? Classement, par type de phénomènes étudiés, des paramétrisations impactantes à peu impactantes.*

Dans une simulation adiabatique (pas de phases de l'eau, pas de paramétrisations), la partie la plus coûteuse est le solveur de pression (cas avec relief) ou l'advection.

Dans une simulation complète avec paramétrisations physiques, les processus les plus coûteux sont :

- pour la microphysique : les schémas mixtes ou à 2 moments,
- pour la turbulence : le schéma tri-dimensionnel (pour les résolutions plus fines que 1 km),
- pour la convection et le rayonnement, des options permettent de ne pas calculer les tendances à chaque pas de temps (voir 14 ci-dessus).

A titre indicatif, le tableau ci-dessous résume les coûts numériques des principales routines pour une simulation à 2 grilles imbriquées.

Configuration :

- Modèle 1 : Résolution : 10km. Nbre de points : 144×120×40niv. Appel à la convection : XDTCNV = 300. Appel au rayonnement : XDTRAD = 900., XDTRAD\_CLONLY = 300. Interaction 2-way.
- Modèle 2 : Résolution 2.5 km. Nbre de points : 80×144×40niv.  
3heures de run

Remarques :

- Pour le Modèle 1, le coût plus faible de la convection avec ICE3 par rapport à KESS signifie qu'il y a moins de colonnes convectives, au profit des nuages explicites.

Le coût de la turbulence 3D est fournie à titre indicatif car elle ne se justifie pas à 2,5km.

Routine	Modèle 1 avec Kessler	Modèle 1 avec ICE3	Modèle 2 avec Kessler	Modèle 2 avec ICE3	Modèle 2 avec Kessler et TURB3D
<b>Two-way</b>	100s 3%	140s 4%	-	-	-
<b>Advection</b>	174s 5%	250s 7%	1070s 9%	1500s 10%	1090s 5%
<b>Sources dynamiques</b>	100s 3%	100s 3%	610s 5%	640s 5%	630s 3%
<b>Diffusion numérique</b>	118s 4%	150s 4%	570s 5%	740s 5%	580s 3%
<b>Solveur de pression</b>	930s 29%	930s 27%	4900s 42%	4900s 34%	4900s 24%
<b>TOTAL DYNAMIQUE</b>	48%	48%	67%	60%	38%
<b>Rayonnement</b>	350s 11%	520s 15%	340s 3%	500s 3%	320s 2%
<b>Convection</b>	660s 21%	120s 4%	-	-	-
<b>Surface</b>	55s 2%	55s 2%	220s 2%	220s 2%	220s 1%
<b>Turbulence</b>	380s 12%	420s 12%	2200s 19%	2400s 17%	11160s 54%
<b>Microphysique</b>	210s 7%	650s 19%	1050s 9%	2500s 18%	1050s 5%
<b>TOTAL PHYSIQUE</b>	52%	52%	33%	40%	62%
<b>TOTAL</b>	3200s	3500s	11600s	14300s soit 23% supplémentaire pour ICE3	20600s soit 77% supplémentaire pour TURB3D

19. Nombre de processeurs à utiliser en fonction du nombre de points de grilles, du nombres de domaines imbriqués ?

Le nombre de processeurs se choisit en fonction du nombre de points de grille horizontaux, et non en fonction du nombre de domaines imbriqués (grid-nesting). En effet, le codage de la parallélisation découpe le domaine horizontal en sous-domaines, un sous-domaine est attribué à chacun des processeurs. Il n'y a en revanche pas de découpage vertical. Pour une simulation en grid-nesting, tous les domaines sont découpés en un même nombre de sous-domaines (nombre de processeurs indiqué à la soumission du job dans le paramètre NBP de tosuperc). Il faut conserver des longueurs de tableaux assez grands par sous-domaine pour assurer une vectorisation correcte, par exemple on indiquera 4 processeurs pour des domaines supérieurs à 150x150.