

Intitulé du projet :

**Transfert du modèle de climat LMDZ autour d'un démonstrateur de descente d'échelle pour des applications « services climatiques »**  
**MiCaDo "Mesoscale & comprehensive downscaling with LMDz Model"**

Porteurs : Frédéric Hourdin (LMD/IPSL) et Bruno Guillaume/Céline Deandreis (Aria technologie)

Personnes impliquées à l'IPSL :

Laurent Li : expertise climatique et guidage en cascade

Laurent Fairhead : expertise et appui informatique sur LMDZ

Sébastien Denvil : correspondant accès aux données CMIP5

Pascale Braconnot : expertise changement climatique, SECIF

Frédérique Cheruy : correspondant avec le groupe Orchidee

Jean-Louis Dufresne : responsable du pôle modélisation de l'IPSL

## Présentation

### **1. LMDZ : un outil à maturité**

Un modèle multi-configuration

Utilisation pour la descente d'échelle de projections climatiques

### **2. Le projet Labex**

Pourquoi un projet de transfert vers une PME ?

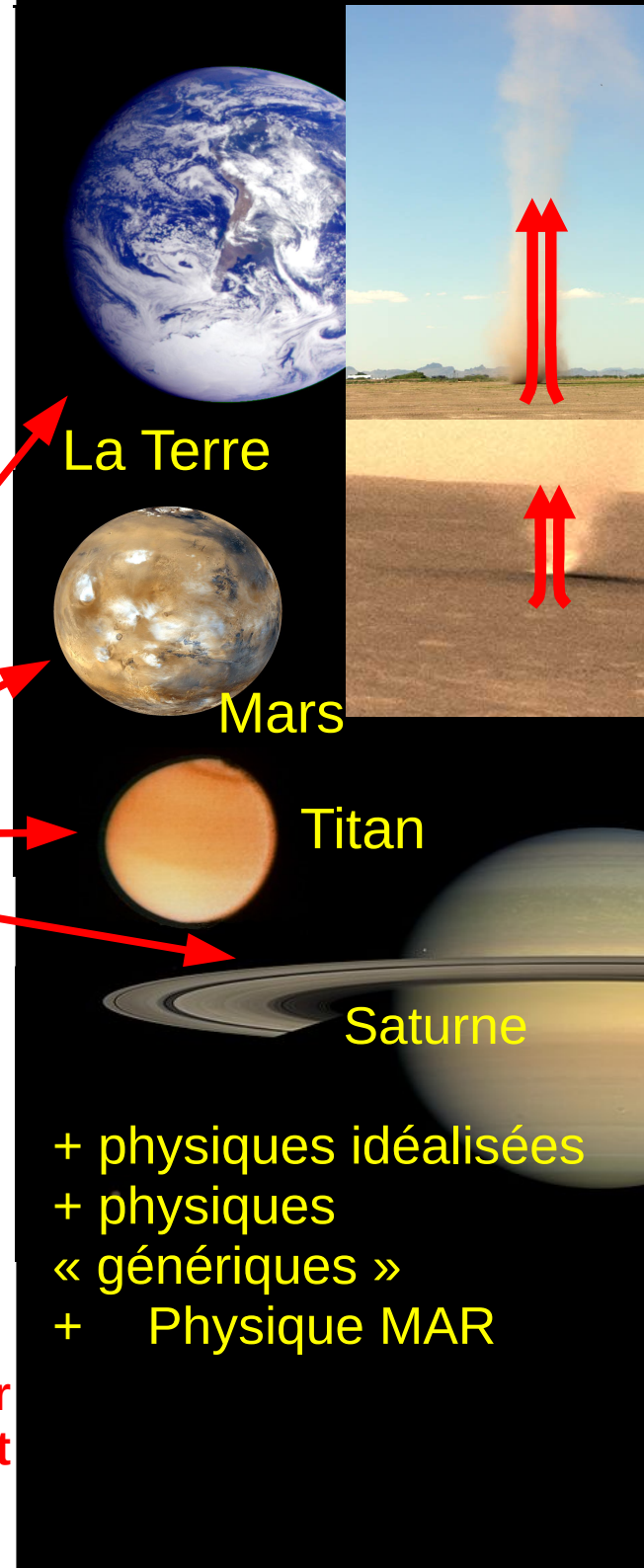
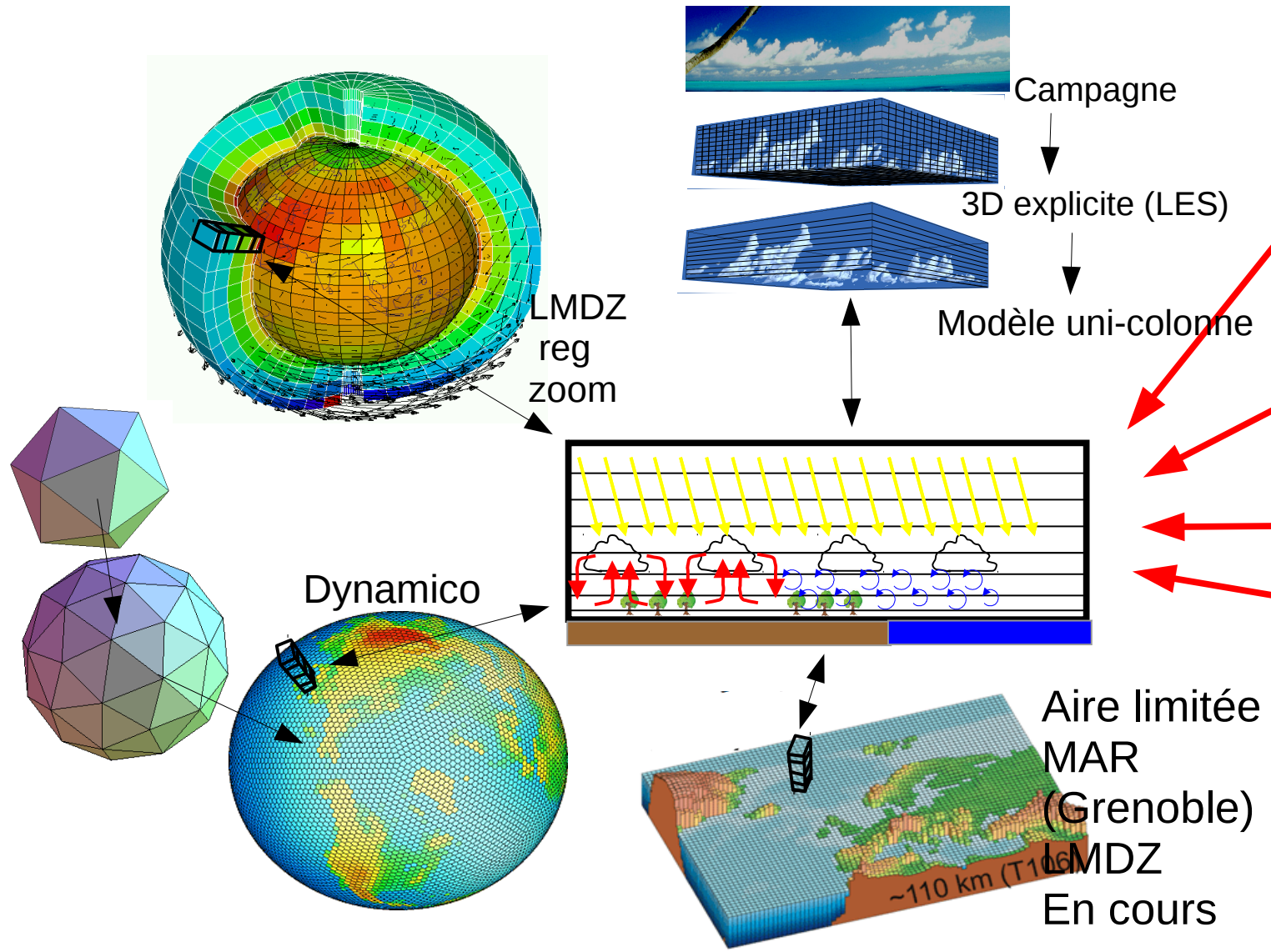
Pourquoi Aria-technologie

Attente d'Aria-technologie

Objectifs du projet

Réalisations

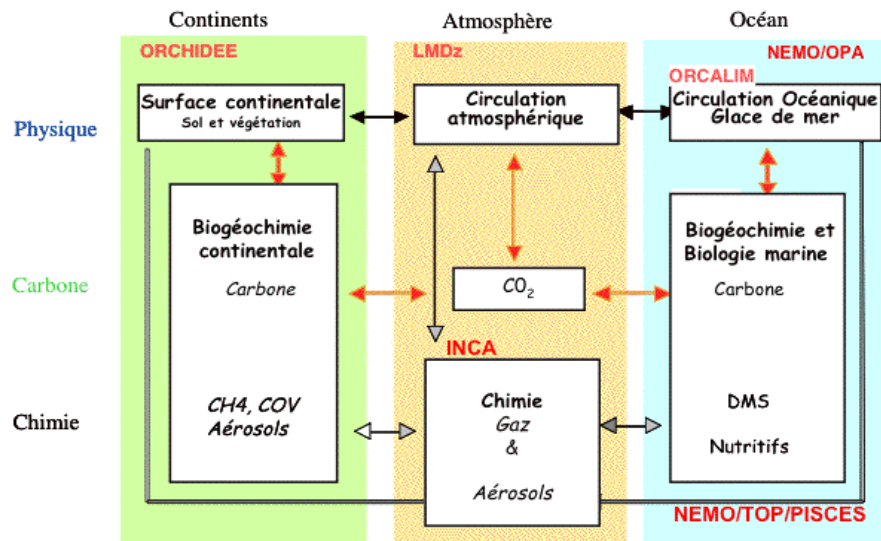
# 1.1 LMDZ : un modèle multi-configurations



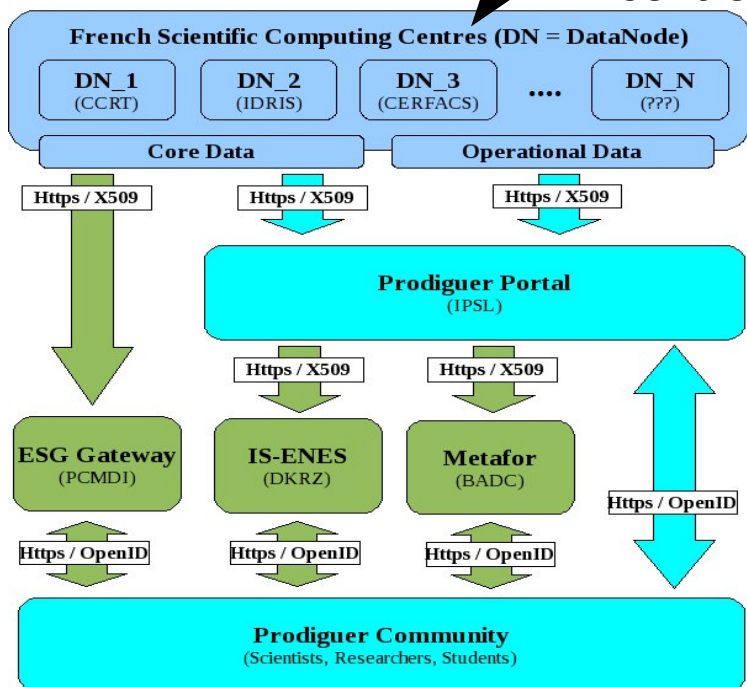
- + physiques idéalisées
- + physiques « génériques »
- + Physique MAR

**Les résultats des simulations martiennes servent de référence pour toutes les préparations de missions vers Mars (financement Cnes/Esa)**

# 1.1 LMDZ : un modèle multi-configurations



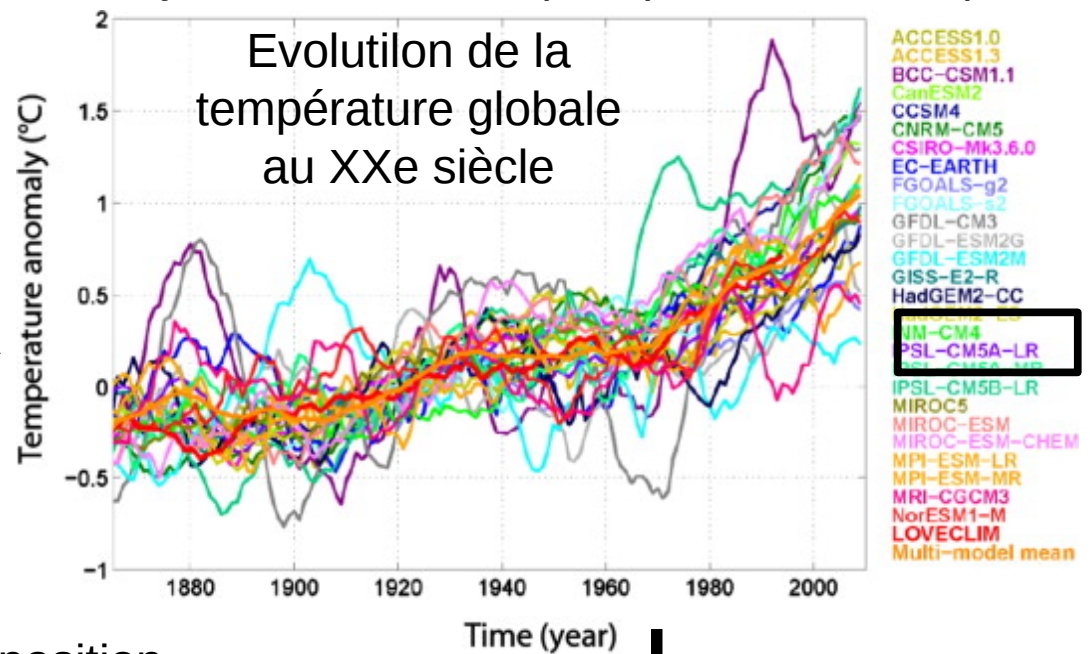
Mise en œuvre centres de calcul



Mise à disposition  
Serveur de données  
**ICM DATA / ISIS**

Le modèle du « système terre » de l'IPSL  
= Composante physique (océan/atm/hydro)  
**LMDZ/NEMO**  
+ Cycle (CO<sub>2</sub>, bio-géochimie, aérosols)

Analyse des résultats (500 publiés en 2 ans)



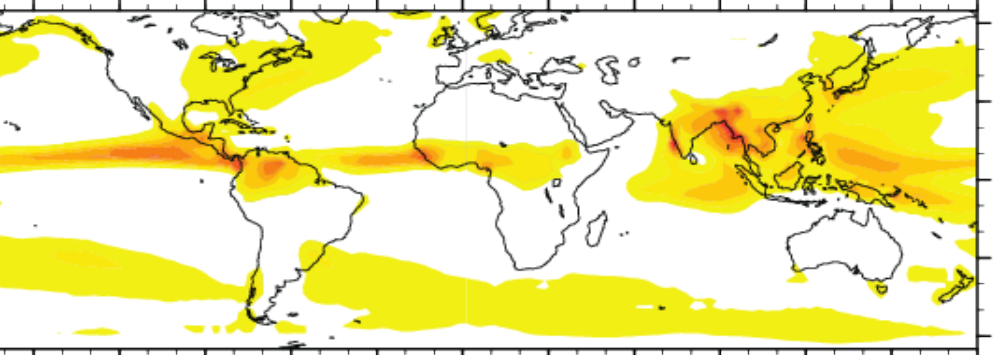
Synthèse Giec (IPCC)



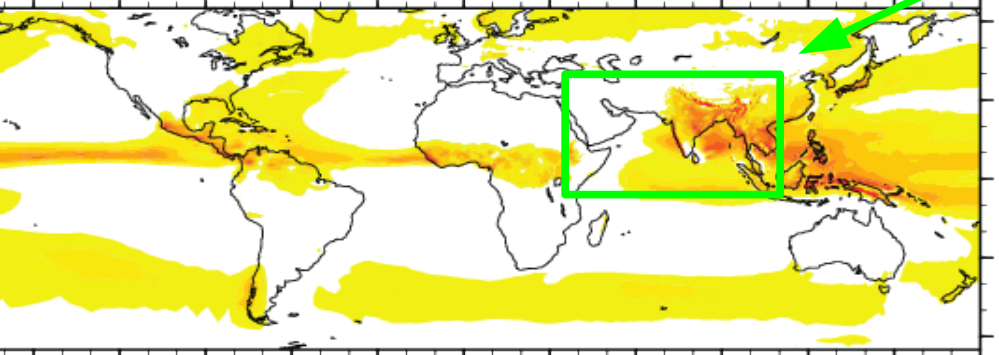
# 1.1 LMDZ : un modèle multi-configurations

Simulations climatiques zoomées Cordex Asie du Sud, Krishnan et al (IITM)

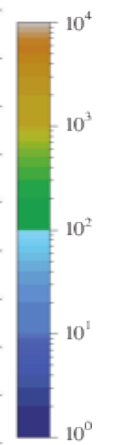
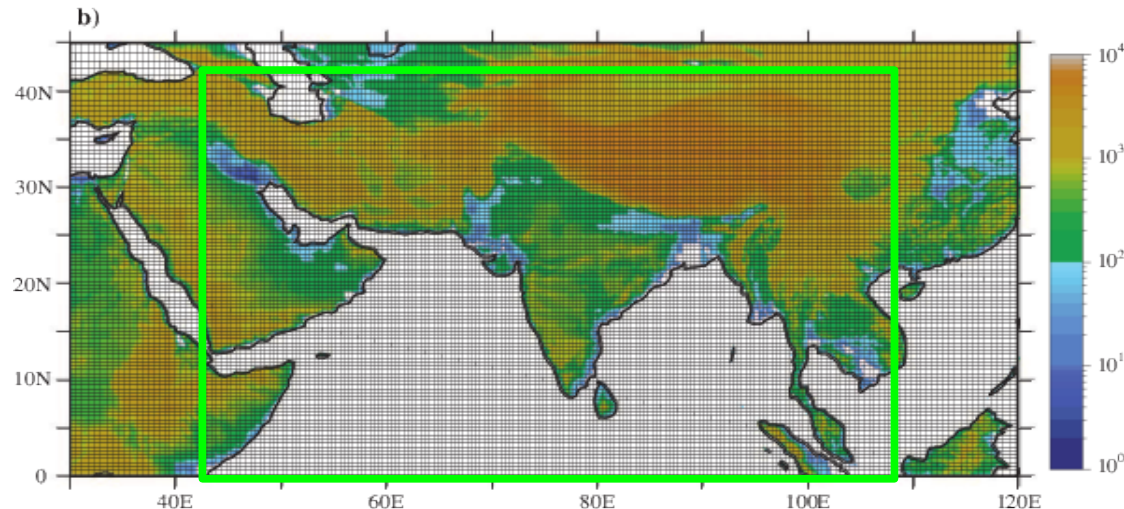
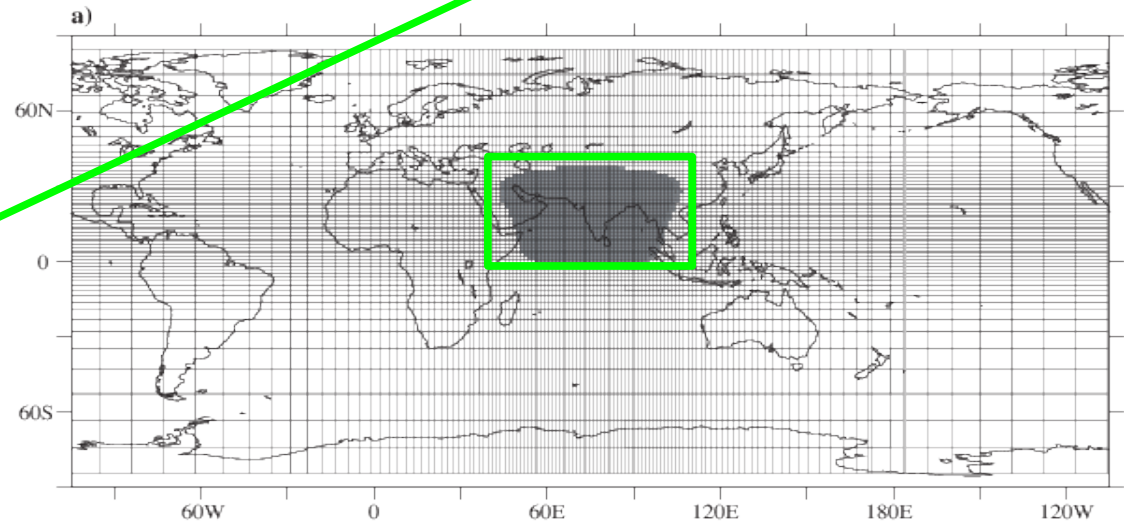
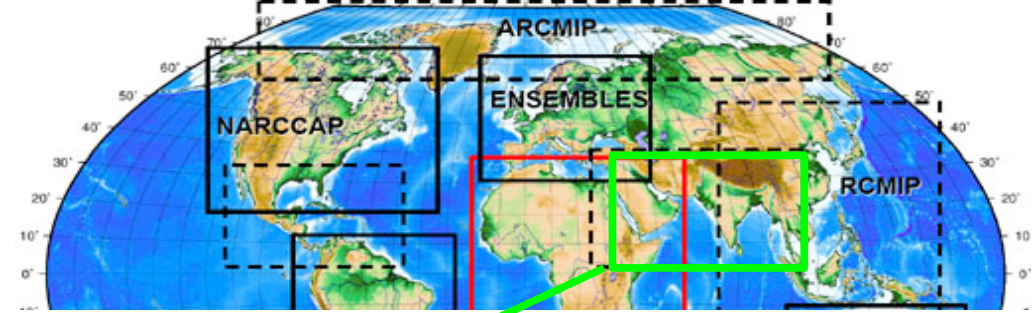
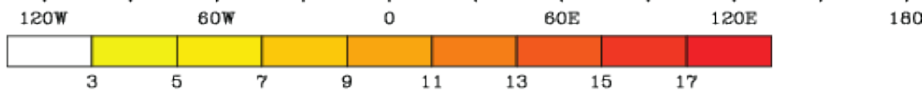
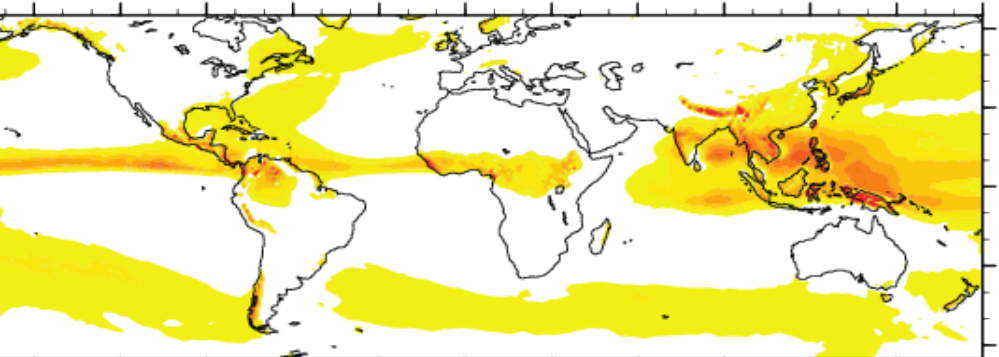
precipitation (JJAS) - GPCP



precipitation (JJAS) - Zoom



precipitation (JJAS) - No Zoom



# 1.1 LMDZ : un modèle multi-configurations

## LMDZoom

Raffinement local de la grille

+

« **guidage** » par les « analyses » météorologiques ou un autre modèle.

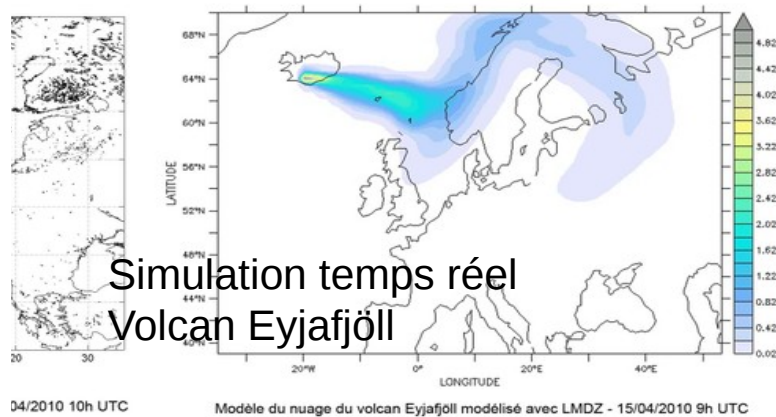
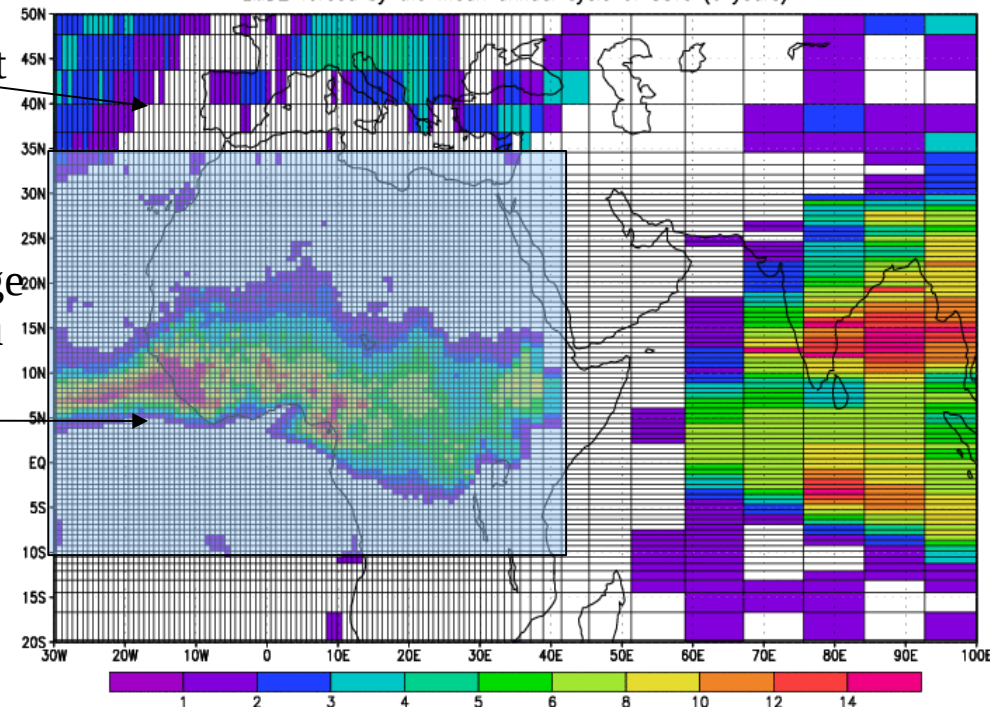
→ **Evaluation**/analyse sur sites (**Sirta**) et campagnes (**AMMA**)

→ « **descente d'échelle** » des simulations du changement climatique

Guidage fort

Guidage plus ou moins fort

July rainfall (mm/day)  
LMDZ forced by the mean annual cycle of SSTs (6 years)

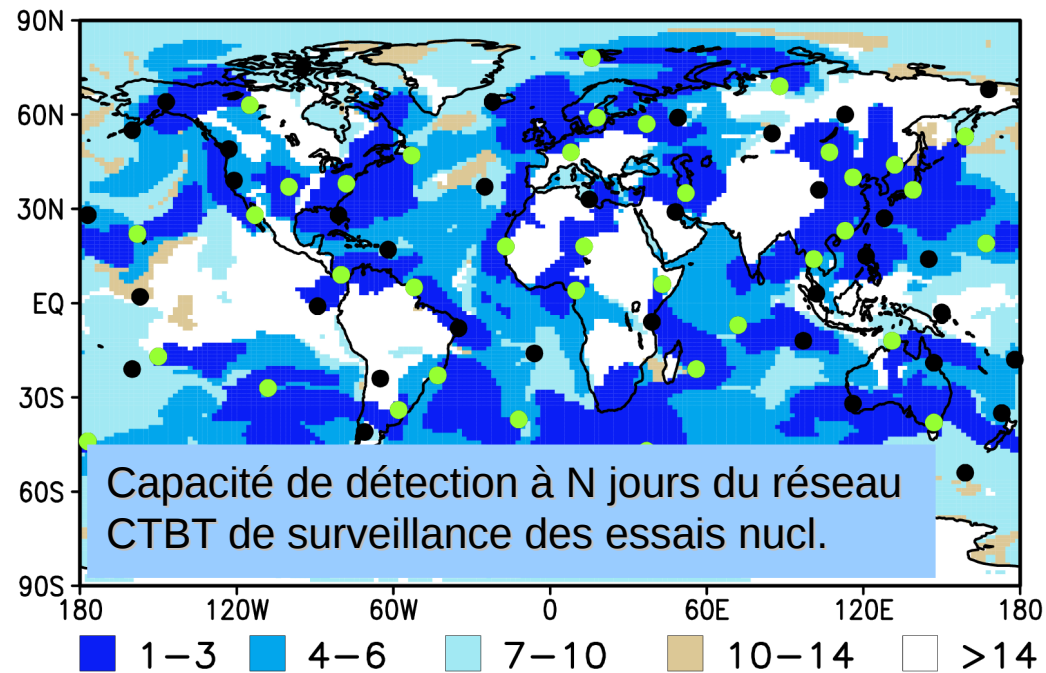


Transport direct et inverse de traceurs

→ Couplage avec chimie/aérosols

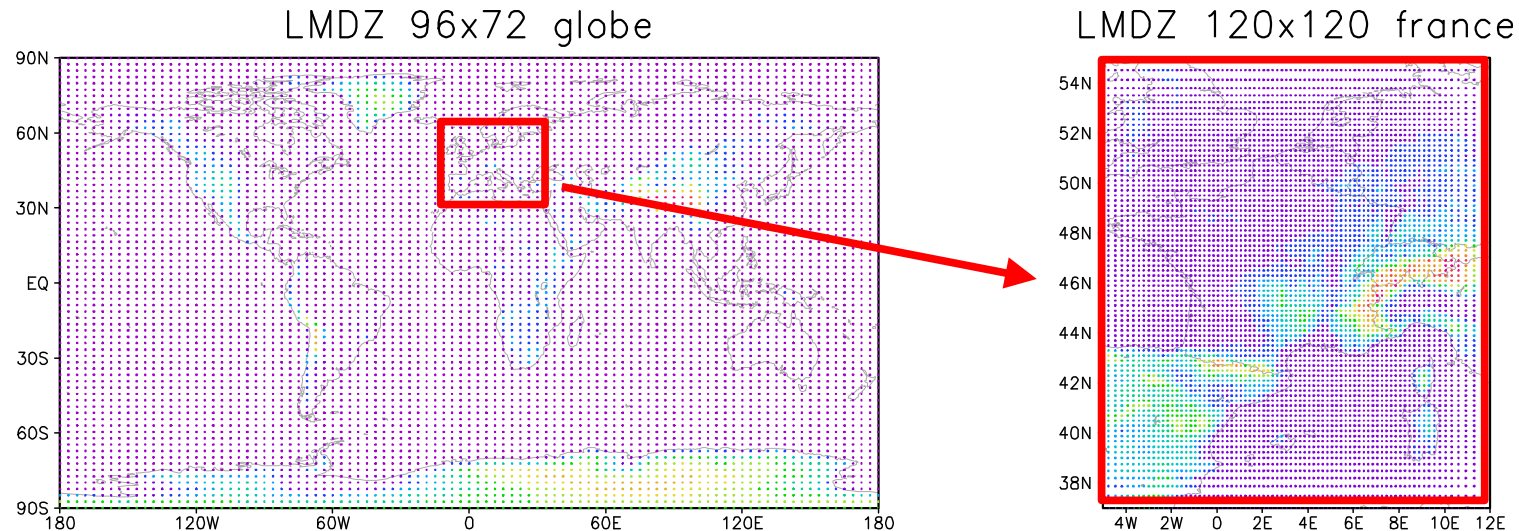
→ Inversion des émissions

→ Surveillance de l'environnement





## 1.2 LMDZ : utilisation pour la descente d'échelle de projections climatiques



### Deux approches pour la « descente d'échelle dynamique » :

**Approche 1.** L'utilisation directe des sorties d'un modèle global pour guider un modèle régional (à aire limité ou global/zoomé) aux bords de la région d'intérêt.

Difficile de s'affranchir des biais du modèle couplé océan/atmosphère d'origine.

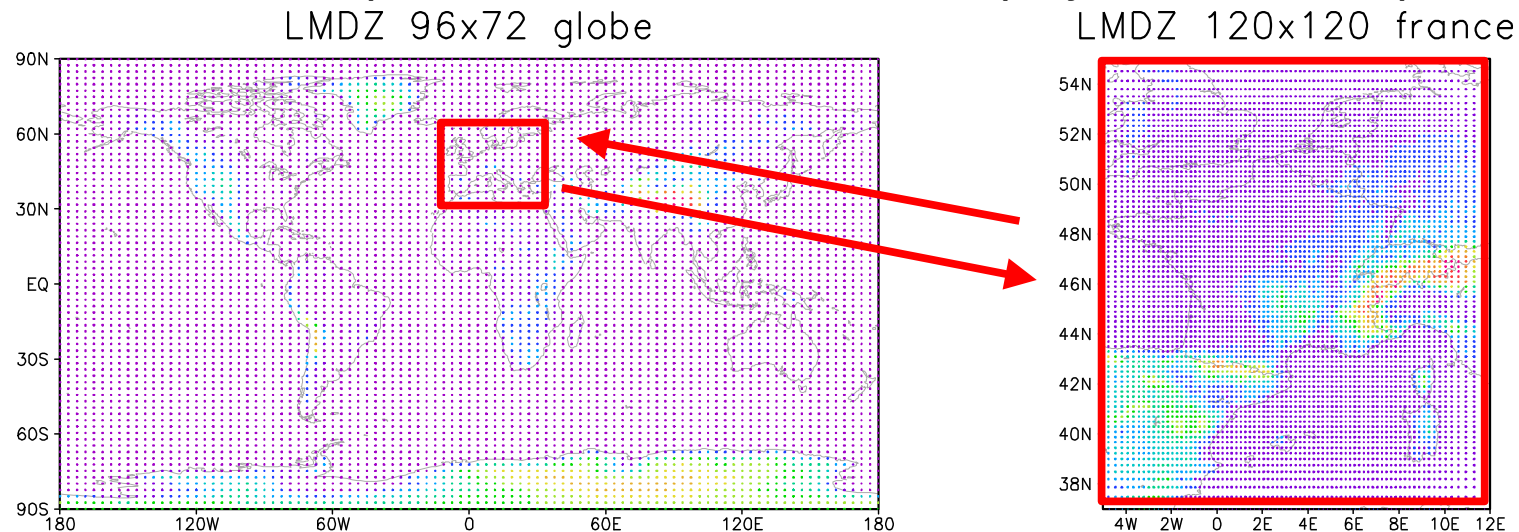
**Approche 2.** Réalisation préalable d'une simulation du modèle global atmosphérique pour guider la simulation régionale. On peut forcer les simulations actuelles avec les SST réelles, et les simulations du futur en anomalies de SST plutôt qu'en SST directement.

- Le forçage en anomalies n'est pas réalisable dans l'approche 1 car les champs de guidage seraient alors incohérents avec les SSTs.

- L'approche 2 réalisée avec le même modèle en global et zoomé permet de travailler en couplage à double sens (two way nesting)

**L'approche 2 est à la base du projet Labex LMDZ-Aria**

## 1.2 LMDZ : utilisation pour la descente d'échelle de projections climatiques



### Deux approches pour la « descente d'échelle dynamique » :

**Approche 1.** L'utilisation directe des sorties d'un modèle global pour guider un modèle régional (à aire limité ou global/zoomé) aux bords de la région d'intérêt.

Difficile de s'affranchir des biais du modèle couplé océan/atmosphère d'origine.

**Approche 2.** Réalisation préalable d'une simulation du modèle global atmosphérique pour guider la simulation régionale. On peut forcer les simulations actuelles avec les SST réelles, et les simulations du futur en anomalies de SST plutôt qu'en SST directement.

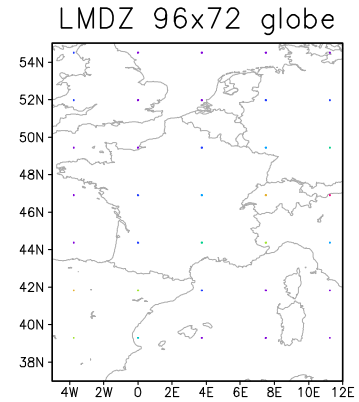
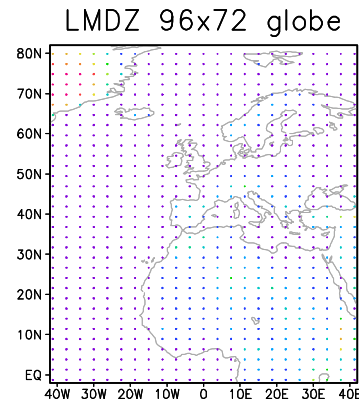
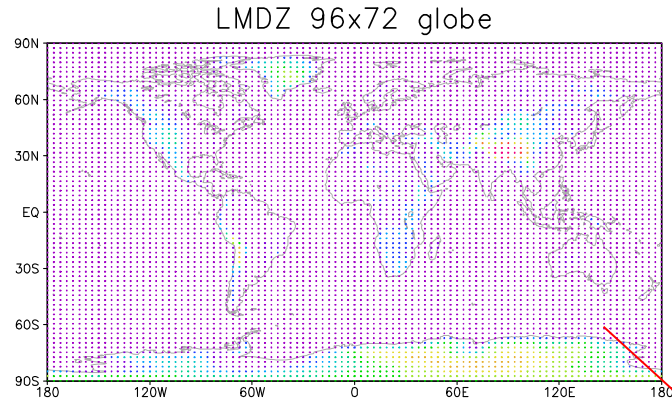
- Le forçage en anomalies n'est pas réalisable dans l'approche 1 car les champs de guidage seraient alors incohérents avec les SSTs.

- L'approche 2 réalisée avec le même modèle en global et zoomé permet de travailler en couplage à double sens (two way nesting)

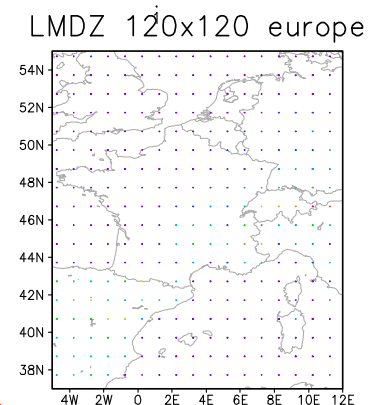
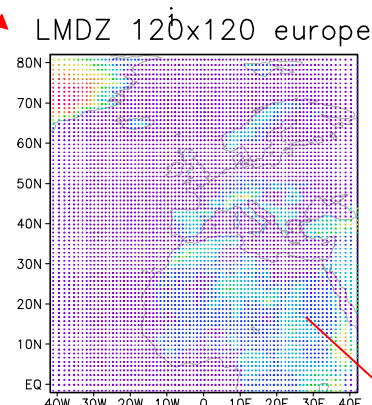
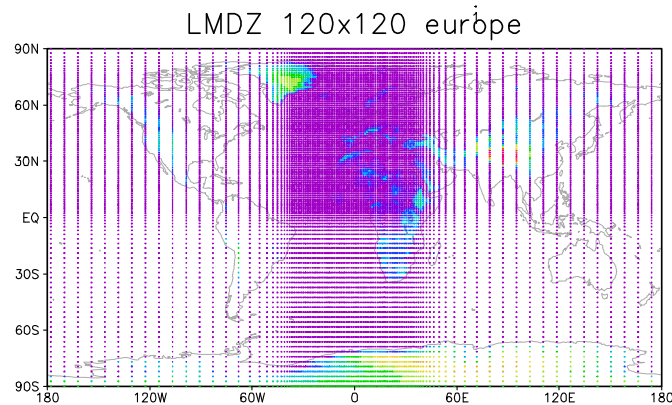
**L'approche 2 est à la base du projet Labex LMDZ-Aria**

# 1.2 LMDZ : utilisation pour la descente d'échelle de projections climatiques

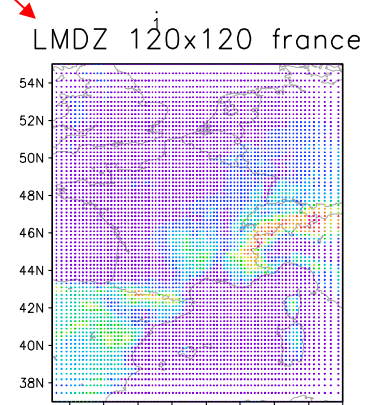
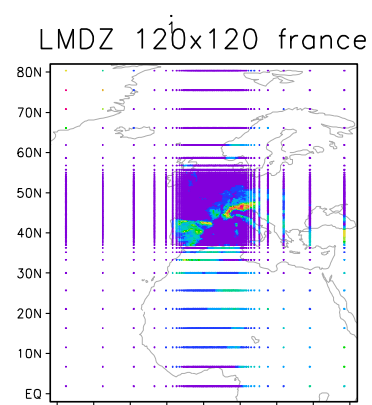
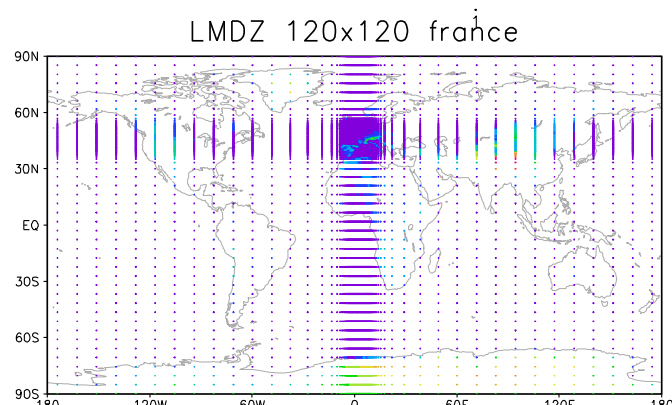
## LMDZ - Grilles en cascade - (Laurent Li)



LMDZ Globe  
(300 km)



LMDZ Europe  
(100 km)



LMDZ France  
(20 km)



## 2.1 Pourquoi un projet de transfert vers une PME ?

### Diffusion accrue vers le privé ou institutionnels & au sein des laboratoires de recherches

LMDZ est un outil adapté pour tout un tas d'études climatiques, y compris de descentes d'échelle (jusqu'à ~15km)

Des versions à aire limitée non hydrostatiques sont en cours de développement.

Profiter du retour d'expérience pour mettre en défaut et améliorer la physique de LMDZ

Renforcer l'assise internationale du modèle

Favoriser l'utilisation de LMDZ plutôt que de WRF quand c'est pertinent.

### Contribution aux « services climatiques »

Les laboratoires ne sont ni structurés ni n'ont vocation à répondre à l'ensemble des demandes

L'IPSL est attendu sur ce terrain

Y répondre en préservant les missions de recherches d'instituts comme le CNRS

Contribution à l'activité économique.

### Diffusion de l'expertise sur la modélisation climatique des laboratoires vers la société

### Echanges scientifiques et retour sur investissement

Relais en retour vers nos laboratoires de questions amont

Implication dans des projets montés par la PME (avec retour financier)

Collaboration scientifique autour de questions climatiques ou de modélisation

Co-développement de certains aspects et packaging de code ( → open source)

### Débouchés pour les étudiants

## 2.4 Le contenu du projet financé par le Labex

### Etude pilote/prototype

Rejouer un cas de descente d'échelle climatique pour « les impacts ».

En pratique le cas de l'ANR Secif (question de traitement des eaux près de Valence) :

1. Rejouer le cas en mode rétrospectif forcé par les réanalyses (comparaison à WRF)
2. Rejouer le même cas en mode Grilles-en-Cascade
3. Rejouer le même cas en changement climatique sur des anomalies de SST

### Identification d'un marché potentiel / modèle économique

- analyser le « marché » potentiel
- affiner le modèle économique

### Transfert, vous avez dit transfert ?

Code source des dernières versions du modèle en ligne + pages web + doc + tutorial

Il est acquis que le mode logiciel libre sera conservé

Il ne s'agit donc pas d'un transfert de code mais d'expertise, et d'un partenariat autour de la diffusion de configurations du code et de la réalisation de simulations et leur analyse.

### Financement

60 keuros sur 12 mois du Labex.

Engagement de co-financement d'un CDD + encadrement côté Aria.

## 2.4 Réalisations

### Recrutement d'un ... CDI :

Céline Déandréis

### Travail initié sur le cas d'étude :

Prise en main du modèle.

Installation du modèle et mise en œuvre d'une configuration sur les calculateurs d'Aria.

Mais :

1/ configuration Alpes un peu extrême pour LMDZ → Premiers résultats décevants

2/ Moyens de calculs insuffisant pour ajuster une configuration plus pertinente

3/ Nécessité de désavouer le contrat pour raisons administratives.

En stand by depuis.

### Identification d'un marché / modèle économique

Discussion sur les droits / protections

Première ébauche d'un accord de partenariat décrivant la protection des acteurs.

Maintien du statut de logiciel libre y compris pour les contributions d'Aria

Tentative de vendre une installation dans des centres semi-opérationnels (type Ineris ou Cerfacs).

Un toujours en cours d'étude

Positionnement d'Aria sur ces deux projets davantage en relais pour la diffusion du modèle.

Aria se projette en expert, suivi des versions, hot line, formation en interface avec les développeurs.

→ **Depuis, Aria a répondu à une demande climatique avec WRF.**

**Bon cadre pour relancer le projet Labex en même temps que la finalisation du (re)financement.**



- **Se positionner sur le marché des services climatiques:**
  - **Élargir notre palette de savoir-faire et de compétences:**
    - *La descente d'échelle*
    - *La réalisation de simulation climatique*
  - **Proposer une offre complète et sur mesure**
  
- **Tester les atouts et faiblesses de LMDZ en comparaison à WRF:**
  - **Facilité de déploiement et de mise en œuvre**
  - **Coût de calcul**
  - **Qualité des résultats**
  - **Accès au support support scientifique et technique**
  
- **Bénéficiaire de l'expertise et de la proximité de l'équipe de développement:**
  - **Travailler sur des questions amont/recherche**
  - **Élargir l'utilisation à d'autres domaines**

## ■ Prise en main du modèle

## ■ Mise en place d'une première configuration sur le cas d'étude du projet SECIF (Romans-sur-Isère)

- Puissance de calcul ARIA-Technologies insuffisante
- Mise en place d'une configuration « extrême » de LMDZ
- Etude de cas non adapté dans le cadre du projet

## ■ Recherche de marché

- Installation de LMDZ dans des centres semi-opérationnels
  - *Brésil*
  - *Positionnement d'ARIA-Technologies en relais sur la diffusion du modèle*
  - *Démarche actuelle n'ayant pas abouti*
- Réalisation d'étude de descente d'échelle de scénarios climatiques:
  - *Grande avancée commerciale avec le projet « Hydroclim » Jordanie/Israël/Palestine*

## ■ **Projet de coopération financé par l'UE pour les agences de l'eau en Israël/Jordanie/Palestine:**

- **Production d'un jeu de données climatiques régionalisées à haute résolution**
- **Modélisation hydrologique**
- **Analyse de vulnérabilité**
- **Définition de stratégie d'adaptation et de coopération**

## ■ **Spécification du jeu de données climatiques**

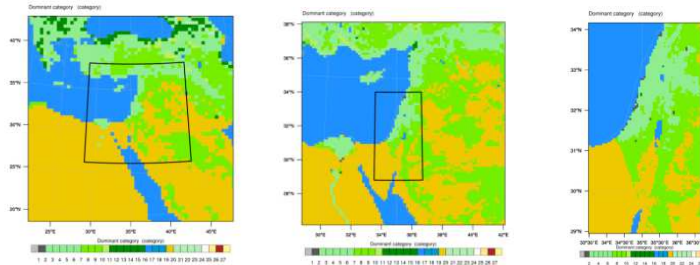
- **Résolution spatiale: 5km**
- **Résolution temporelle: journalière + horaire**
- **Downscaling statistique et downscaling dynamique**



# Hydroclim: descente d'échelle dynamique



**WRF: 3 domaines imbriqués: 45km, 15km, 5km**



**Configuration du modèle suivant l'expertise locale**

**2 modèles forçants CMIP5 (IPSL et NOAA-GFDL)**

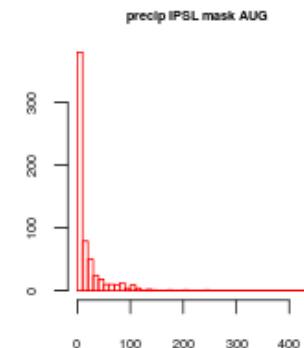
**2 RCPs**

**+ de 200 000h CPU sur HPC ayant nécessité d'externaliser la chaîne de traitement**

**Problème de définition des domaines**

→ **biais importants sur les précipitations estivales**

→ **Résultats non exploitables directement**



- **Hydroclim a démontré la capacité technique d'ARIA-Technologies à répondre à une demande de descente d'échelle dynamique:**
  - Mise en œuvre et réalisation de simulations climatiques
  - Gestion des données produites (30Tera)
  - Analyse des données
  
- **Hydroclim a montré les limitations d'un modèle à aire limité pour ce genre d'étude:**
  - Choix du domaine
  - Résolution cible
  
- **Quid de LMDZ sur cette étude :**
  - Rejouer une partie des simulations Hydroclim
  - Evaluer les forces et faiblesses de LMDZ sur cette zone
  - Comparer avec les résultats WRF
  
- **Prospection active d'ARIA pour la recherche de nouvelles opportunités**