

Présentation (1/2)

RICHARD Yves, 38 ans, 3 enfants.

Depuis 1994 :

- MCF au département de Géographie de l'Université de Bourgogne ;
- Laboratoire : Centre de Recherches de Climatologie;
- En délégation CNRS depuis septembre 2002.



Enseignements :

- Tous niveaux, du DEUG au DEA ;
- Géographie, Sciences Terre, Sciences Vie ;
- Climatologie, géographie physique générale, environnement, statistique, télédétection.

Recherche :

- Continuité Doctorat : pluies Afrique australe ;
- Intégration au CRC : Afrique, Afrique orientale ;
- Nouvelles thématiques pour le CRC : Dobroudja et Qualité de l'air en Bourgogne.

Encadrement d'étudiants :

- 3 thèses en codirection ;
- 10 DEA ;
- 14 maîtrises de géographie ;
- 2 Maîtrises des sciences de l'environnement.



Présentation (2/2)

J'ai choisi d'illustrer mon parcours par :

Sélection de quelques résultats tirés de mon document ;

Présentation de mes priorités de recherche d'ici à 2010.

Espaces

Afrique : valoriser l'héritage (Afrique de l'Ouest et centrale) + faire fructifier les apports (Afrique de l'Est et australe) ;

Europe : développer les acquis (climat Côte d'Or) + diversifier les thématiques (Bourgogne) ;

Fuseau Eurafrique : initier les recherches sur les interactions tropiques-extratropiques.



Changement climatique + Qualité de l'Atmosphère : Océan + Continent (RU, N

e sensibilité aux états de surface à prop
d'échelles : mailles des MCG / réalités
vision au lendemain, ou saisonnière, p





Etudes climatiques régionales

Applications à la variabilité pluviométrique en Afrique australe et orientale et à la qualité de l'air en Bourgogne

Dossier d'Habilitation à Diriger des Recherches

Yves RICHARD

Université de Bourgogne 06 février 2004



Problématique (1/2)

Systeme Climat-Sociétés

climat

Sociétés

Risque ou contrainte

Agriculture,
Élevage,
Végétation,
Ressource en eau, ...

Santé

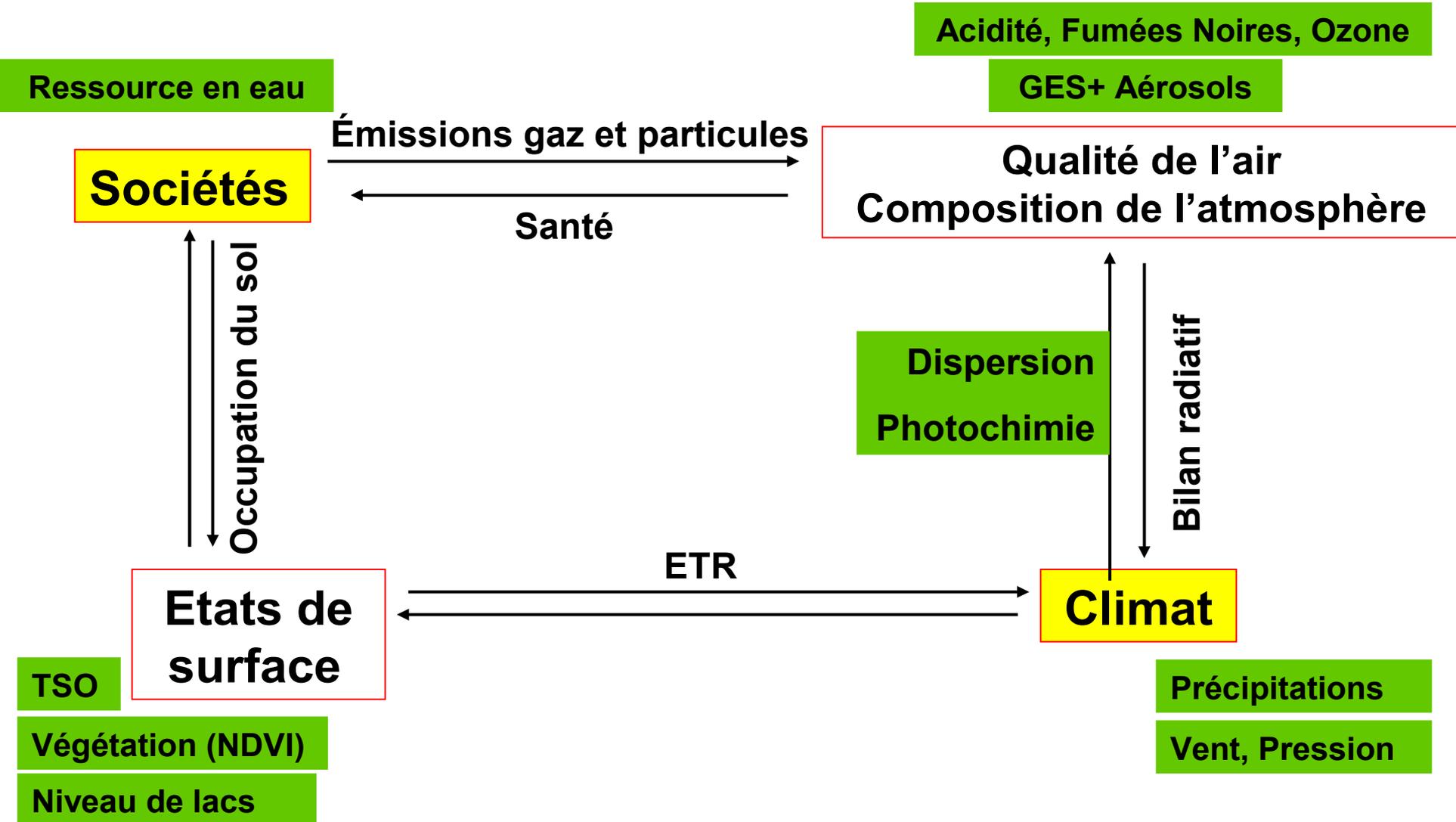


**Modifications
de la composition
chimique
de l'atmosphère**

Qualité de l'air

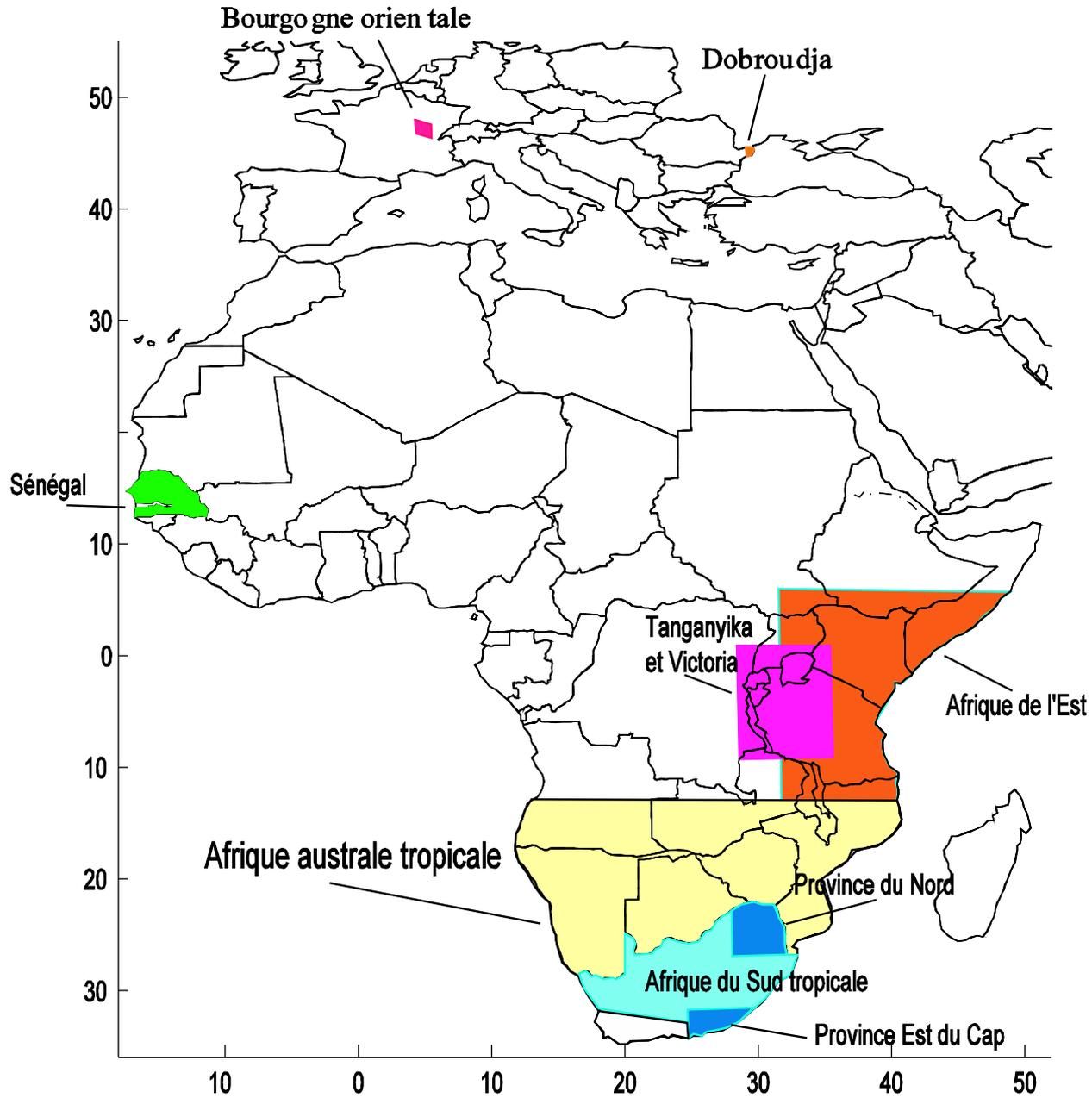
Problématique (2/2)

Fonctionnement du Système Climat-Sociétés

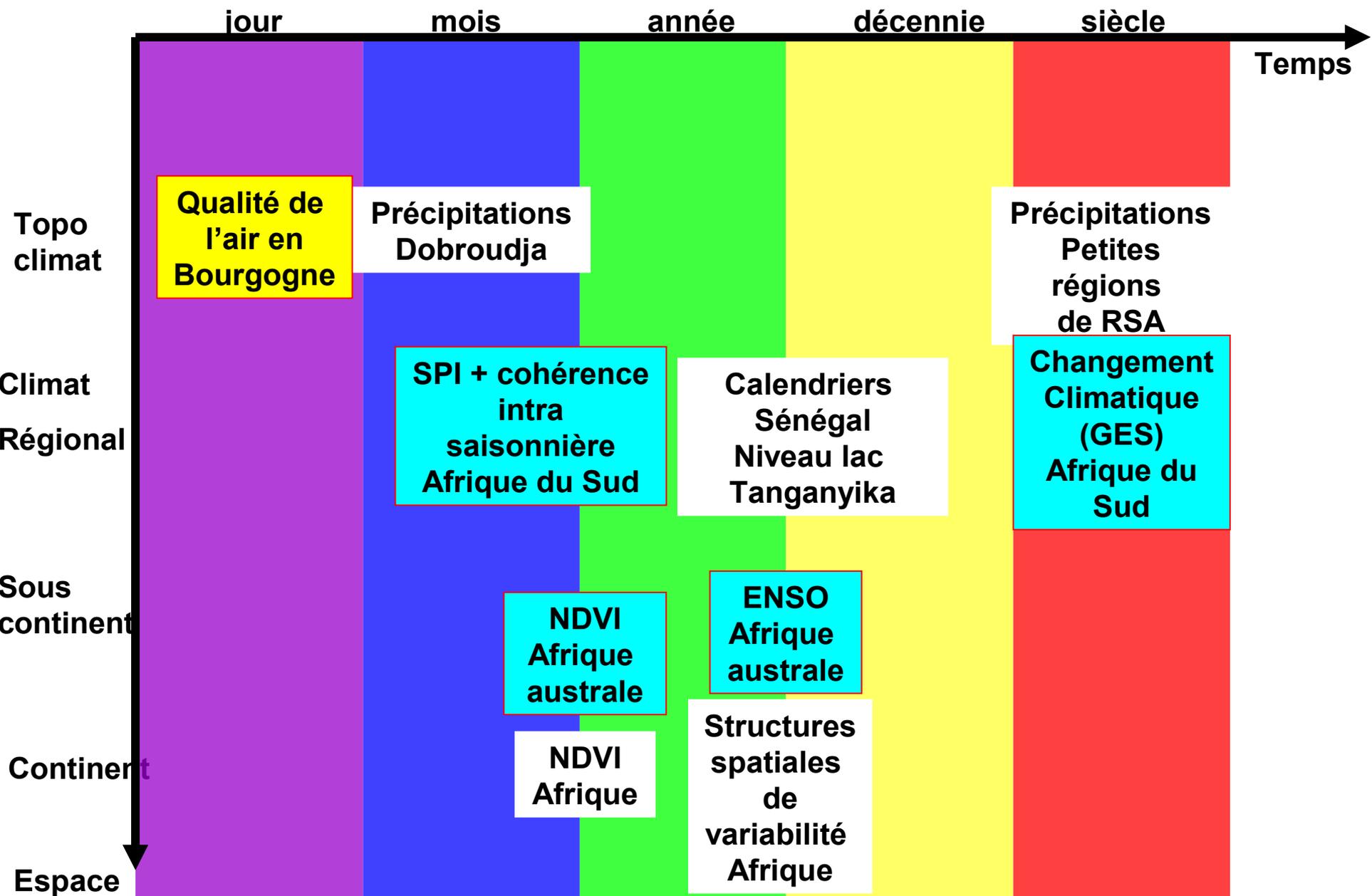


« Régions »

Fuseau Eurafrique



Échelles



Sélection de deux thèmes

1/ Prédiction de l'ozone en Bourgogne.



2/ Ressource en eau en Afrique australe.



Une problématique environnementale

1996 : LAURE

1997 : État de l'art en Bourgogne

Des mesures sur l'agglomération dijonnaise uniquement ;

Pas de collaboration entre réseaux, Météo-France et universitaires ;

Aucune étude publiée relative à la Bourgogne.

1997/98 : Identifier des priorités, regrouper des compétences

Quel polluant : SO₂, CO, NOx, O₃, etc.?

Quel type de travail : diagnostique, prévision, impacts ?

Quel espace : Dijon, plusieurs agglomérations, la Bourgogne ?

Quels partenaires : universitaires, autres ?



Problématique (2/2)

1999 : un choix : proposer une prévision de l'ozone pour le lendemain

Pourquoi l'ozone?

La répartition spatiale et les variations temporelles des concentrations en polluants primaires (CO, SO₂, NO) sont très liées aux sources d'émissions. Ce sont des polluants « locaux ».

L'ozone, polluant secondaire, dépend beaucoup des conditions météorologiques. C'est un polluant « régional ».

L'ozone est le polluant le plus important en Bourgogne : 1/ en nombre de jours de dépassement des seuils OMS et 2/ en population concernée (ce n'est pas seulement un polluant urbain).



Pourquoi des prévisions ?

Il existe une demande sociale à laquelle nous pouvons répondre.

L'analyse diagnostique a montré le rôle fondamental des conditions météo.

En collaboration avec ATMOSF'air et Météo-France

Connaissance terrain, spécialistes de la photo-chimie + compétences en prévision.

Quelle méthode pour prévoir?

Objectif :

Développer des modèles utilisables en mode opérationnel par ATMOSF'air.

La prévision : diverses approches :

Numérique : Ile de France, Alsace ;

Statistique : Lorraine ; Lyon ;

Statistico-dynamique : Aix-Marseille, Bourgogne.

Régressions multiples :

Prévisibilité / Prévision :

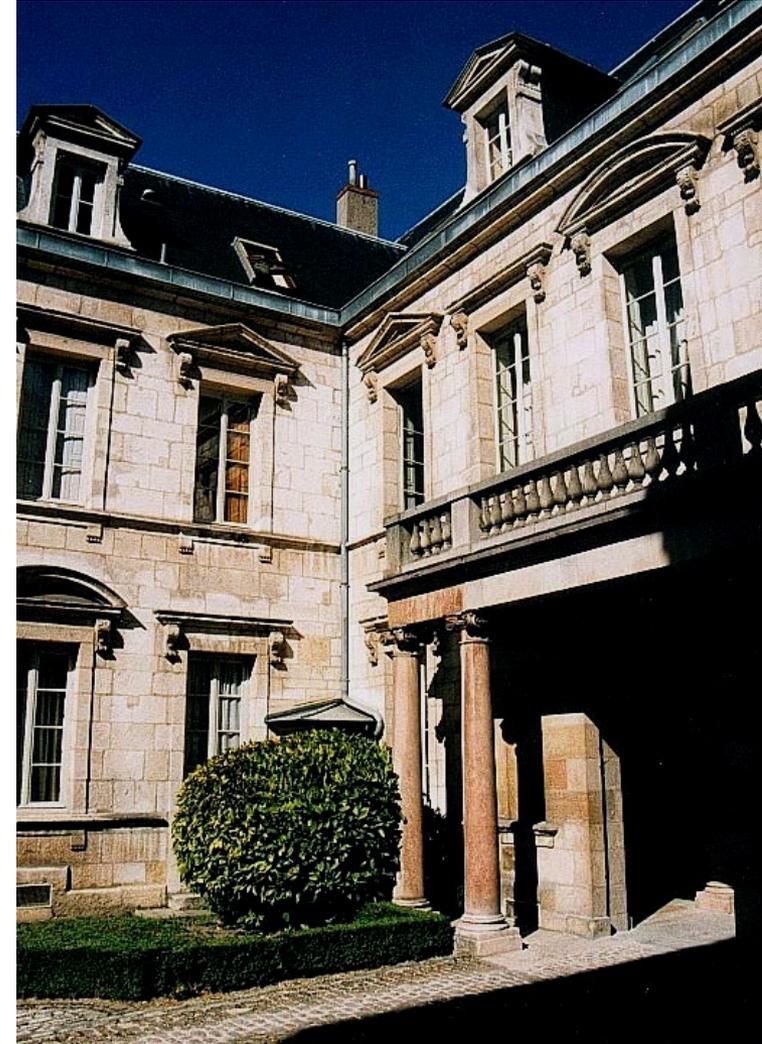
Prévisibilité : données météo observées le lendemain ;

Prévision : météorologie prévue.

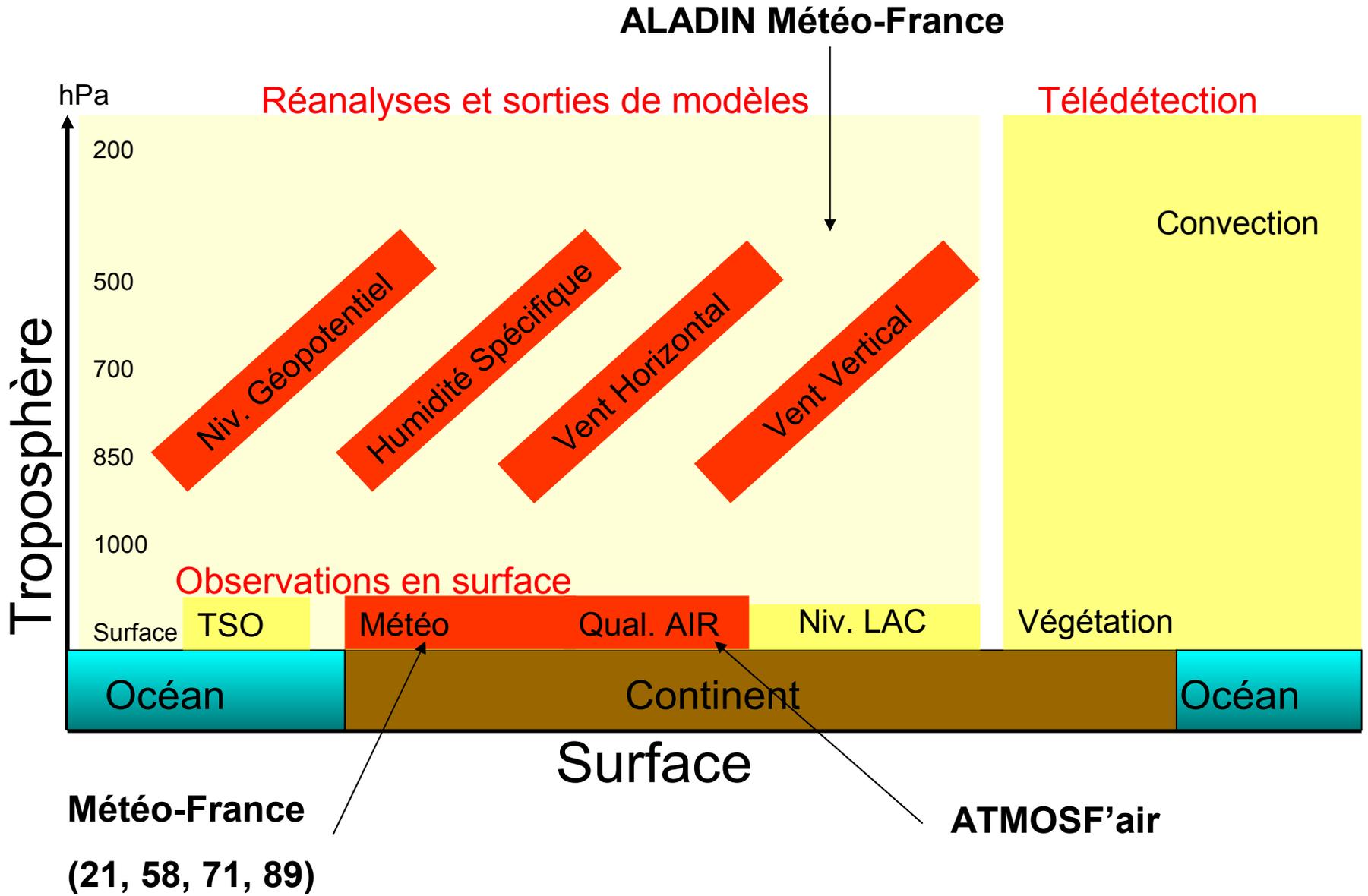
Apprentissage / Validation :

Apprentissage : étés (avril septembre) 1999-2001 ;

Validation : été 2002 (180 jours).

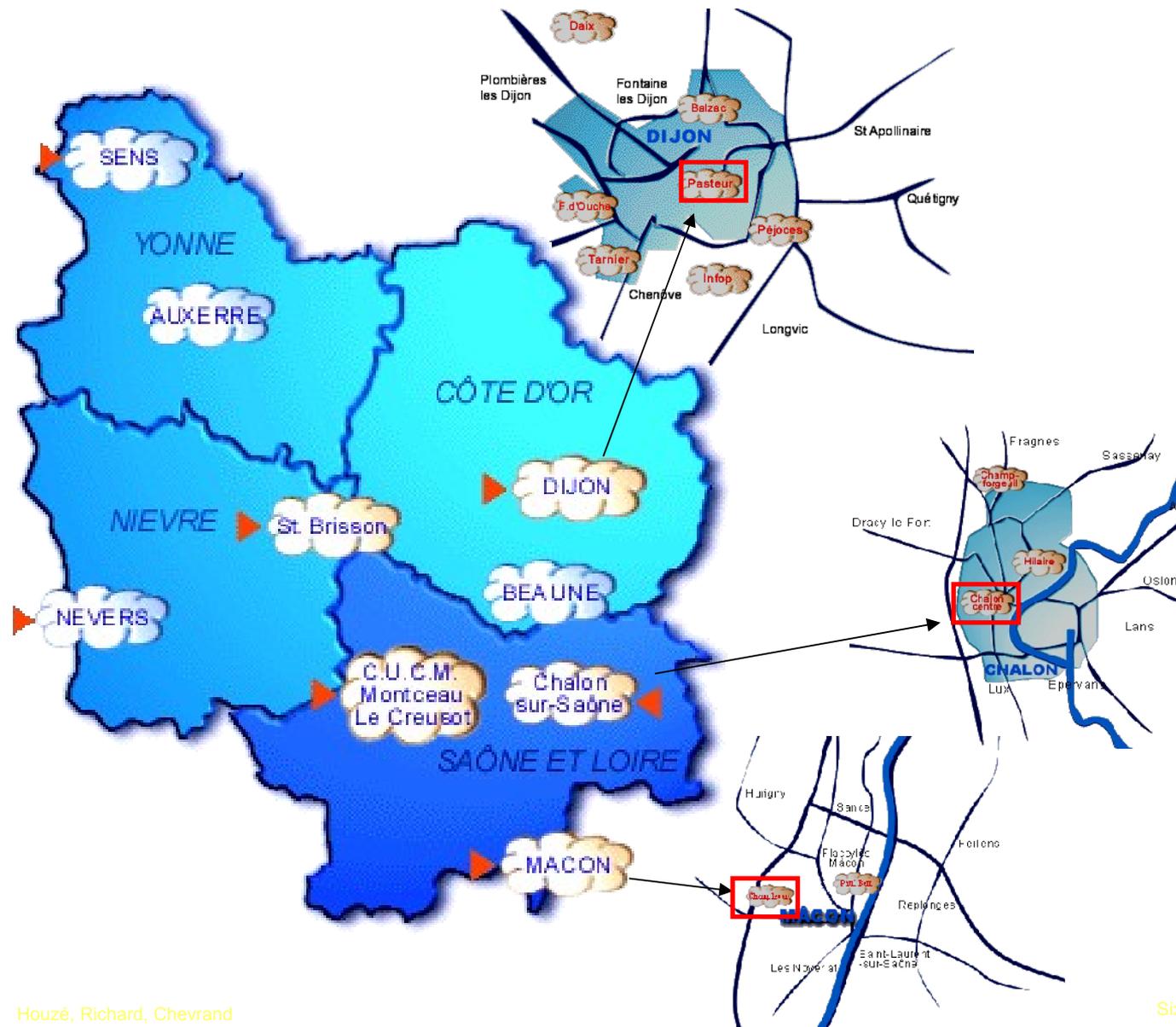


Quelles données ?



1/ Qualité de l'air en Bourgogne

Prévoir où?



Sélection de 3 stations de centre-ville :
Qualité de l'air affecte un grand nombre de personnes.

Quelles performances ?

Performances des 2 types de modèles : prévisibilité / prévision

	Dijon Pasteur R prévison / obs	Chalon Centre R prévison / obs	Mâcon Champlevert R prévison / obs
Prévisibilité			
Apprentissage (99/01)	0,61	0,63	0,62
Validation (2002)	0,61	0,62	0,60

2 paradoxes :

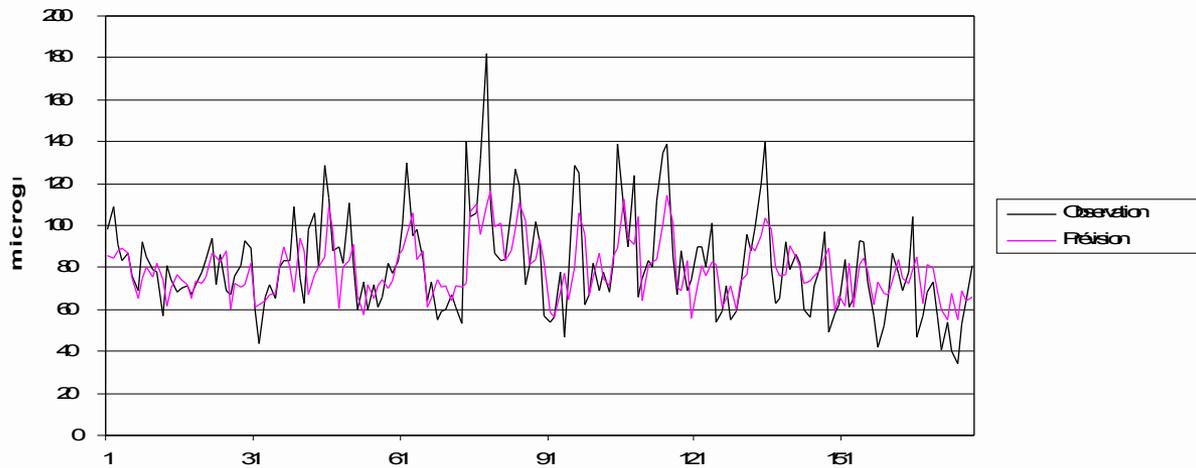
« 1/ Le modèle est meilleur quand il s'applique à un jeu de donnée inconnu ! »

« 2/ Le temps prévu est plus vrai que le temps observé! »

Quelles erreurs (1/2) ?

Chalon Centre : prévisions (CRC) et observations (ATMOSF'air)

Prévisibilité

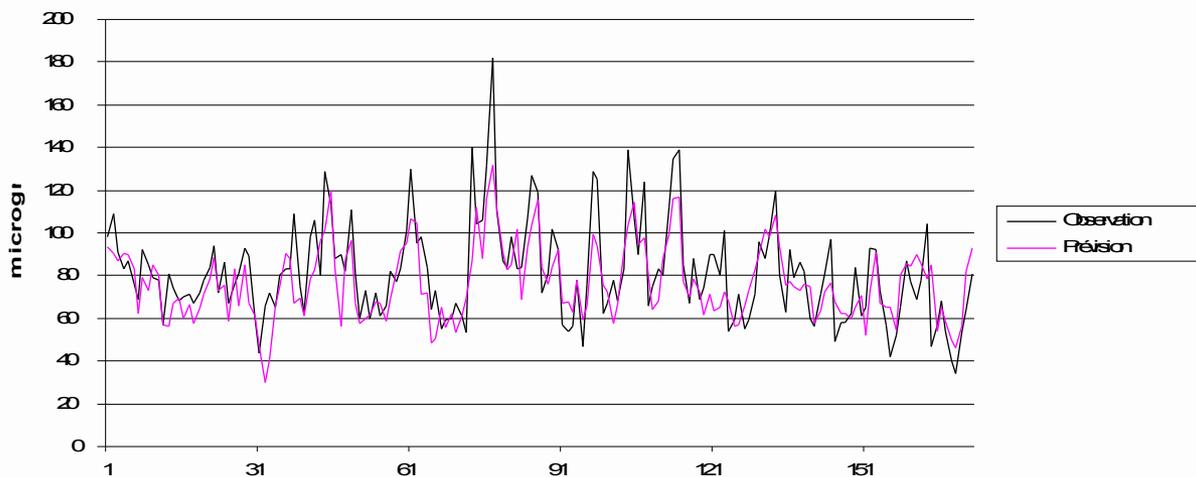


Rythme respecté.

Magnitude fortement sous estimée.

Pics d'ozone mal prévus.

Prévision



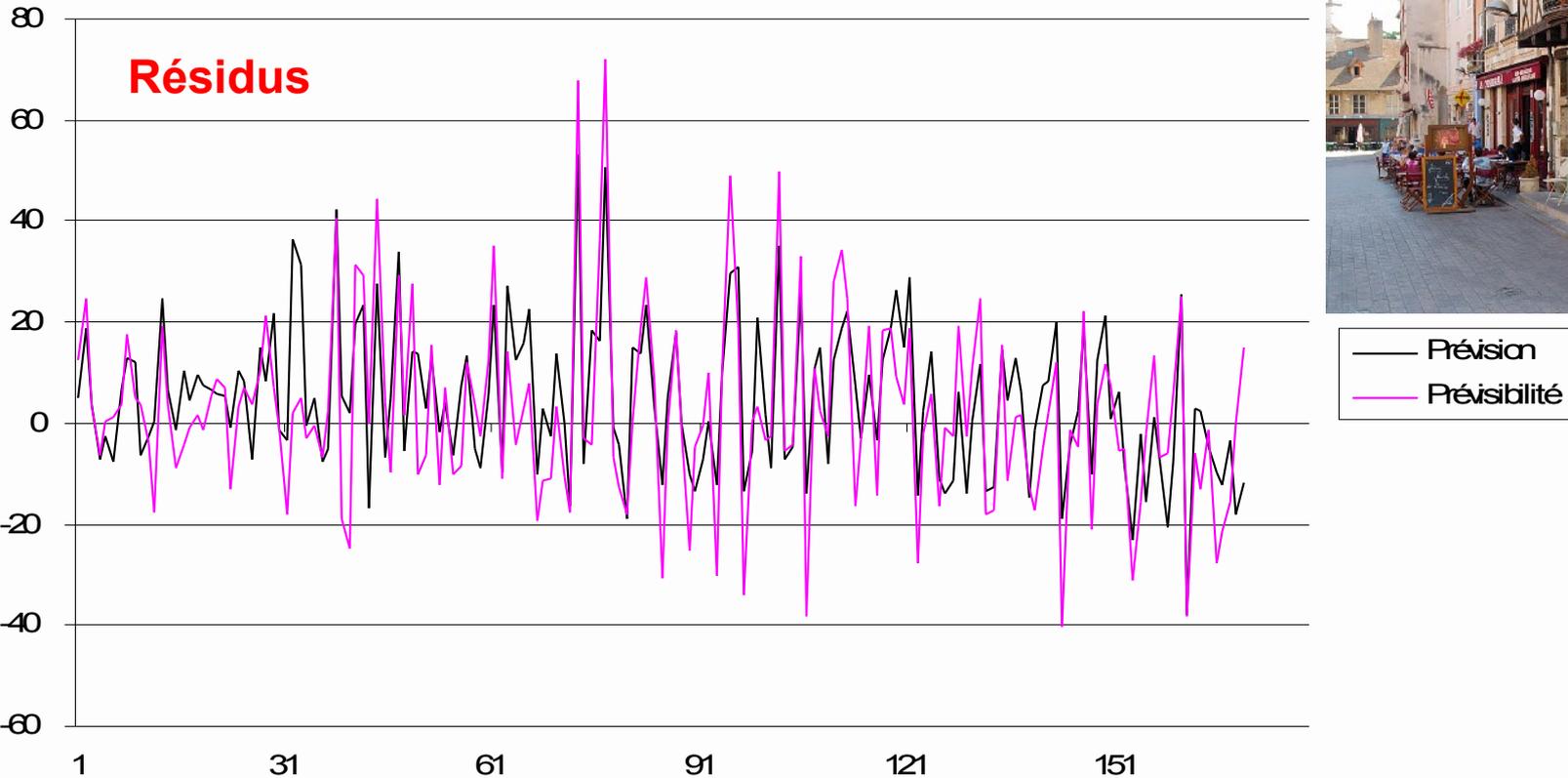
Rythme respecté.

Magnitude légèrement sous estimée.

Pics d'ozone prévus, mais sous estimés.

Quelles erreurs (2/2) ?

Chalon Centre : prévisions (CRC) et observations (ATMOSF'air)



Prévisibilité : erreurs $> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fréquentes.

Prévision : erreurs $> 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rares.

Conclusions

Des modèles statistico-dynamiques de prévision de l'ozone :

- Robustes ;
- Relativement performants ;
- Simples d'usages en mode opérationnel ;
- Disponibles pour une dizaine de stations à Dijon, Chalon et Mâcon.

Paradoxe 1 : comme ALADIN s'améliore en 2002, nos prévisions aussi.

Paradoxe 2 : du point de vue opérationnel, pour l'étude des impacts, en l'absence de radio sondage, les prévisions issues des modèles peuvent être plus efficaces que les observations au sol.

Première partie de la thèse de Marie-Laure Houzé



Perspectives (1/2)

Pour les principales agglomérations :

O₃ mesuré et prévu.



Ailleurs :

O₃ ni mesuré ni prévu.

Passer du point à l'aire :

Connaissance ponctuelle doit devenir aréale :

- Interpolations spatiales multicritères (relief, occupation du sol, conditions météorologiques) ;
- Développement d'un SIG (Arc-Info), collaboration ENESAD, ozone Bourgogne.



Deuxième partie de la thèse de Marie-Laure Houzé

Perspectives (2/2)

Le dôme urbain de CO₂ à Dijon

Pourquoi ?

Les villes sont des sources de CO₂ ;

Elles connaissent des concentrations > 400 µg ;

En cela elles sont des « *laboratoires du futur* »
(exemple : vitesse de croissance des plantes).

Démarche :

- Mesurer les concentrations de CO₂ (campagnes de mesures) ;
- Étudier le δC_{13} pour quantifier la part du carbone anthropique (analyses isotopiques) ;
- Spatialiser le dôme urbain de CO₂ sur l'agglomération dijonnaise (développer un SIG) ;
- Analyser l'évolution du dôme en relation avec les conditions météo (analyse diagnostique).



Prochaine thèse dédiée à la pollution de l'air en Bourgogne

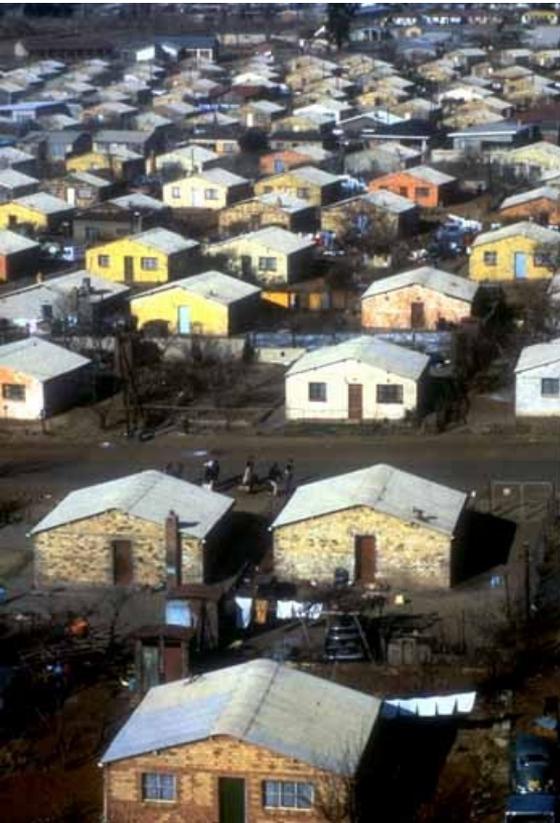
Collaboration CRC, GEOSOL, ENESAD, THEMA, ATMOSF'air, Météo-France.



Problématique : précipitations

Contexte

Forte demande en eau avec pop. croissante et besoins diversifiés (agriculture, industrie, villes) ;



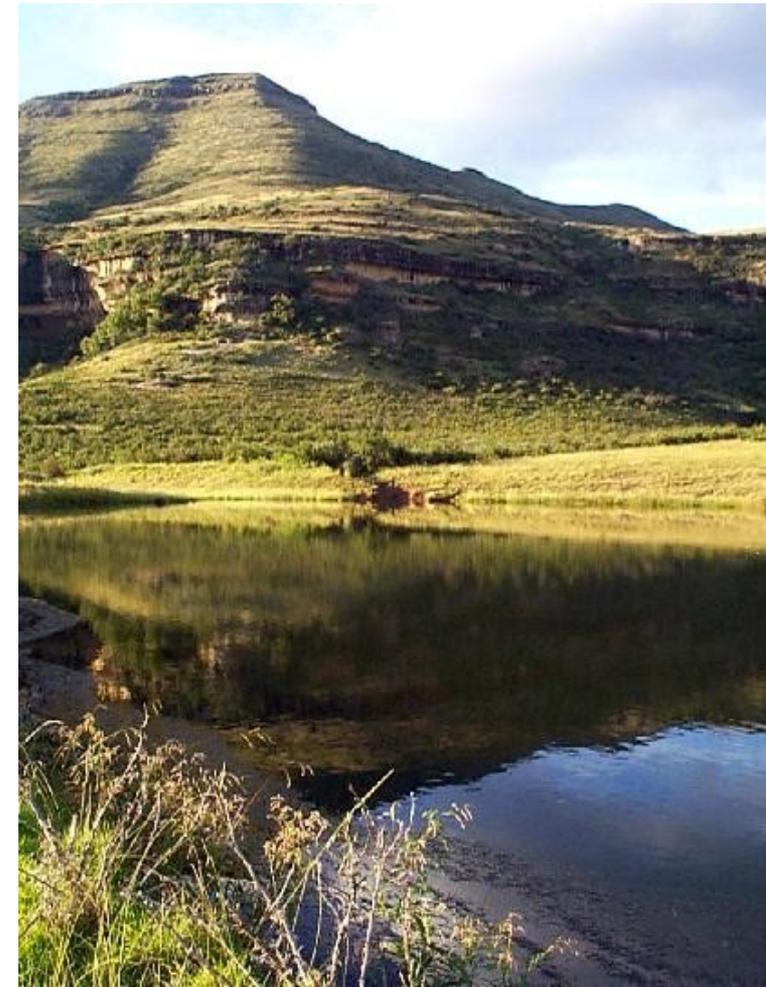
Saison sèche de plusieurs mois ;

Forts contrastes spatiaux des volumes précipités ;

Forte dépendance aux pluies (faibles réserves profondes et absence de fleuve exogène) ;

Fort aléa (forte variabilité interannuelle des pluies) ;

Ceinture subaride : diminution des pluies (xxi^e siècle) ?



2/ Ressource en eau en Afrique australe

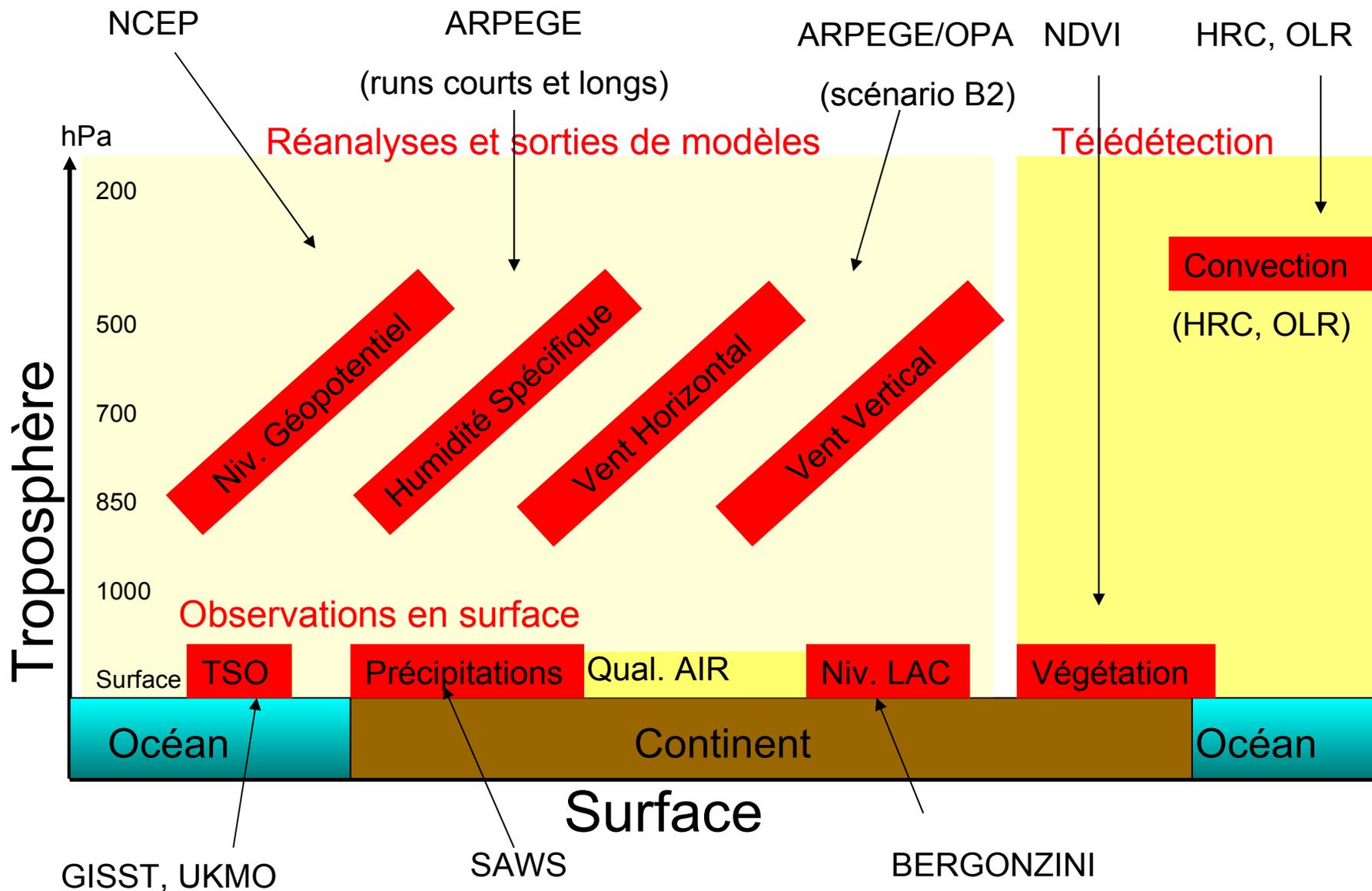
4 Objectifs (de l'intra saisonnier au changement climatique) :

- 1/ Identifier les saisons cohérentes du point de vue de la variabilité ;
- 2/ Diagnostiquer les facteurs et les impacts de la variabilité ;
- 3/ Replacer la variabilité dans un contexte décennal ;
- 4/ Prospectif : étudier l'impact des Gaz à Effet de Serre.



2/ Ressource en eau en Afrique australe

Quelles données?

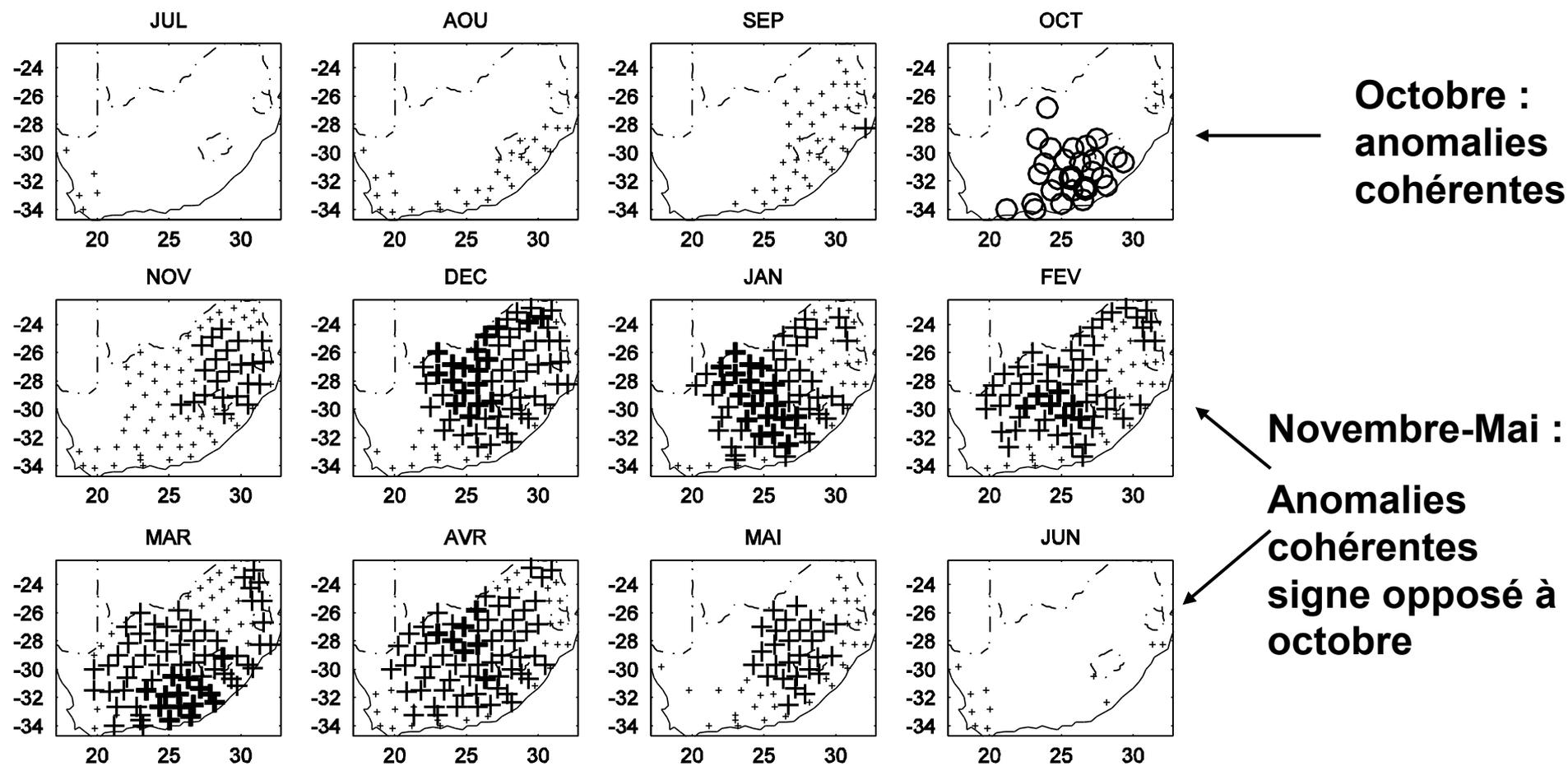


Cohérence intra saisonnière des anomalies?

93 aires pluviométriques de RSA 1920-1999 (données SAWS) ;

ACP étendue : mois et aires en colonnes, années en lignes.

Poids locaux du premier mode de l'ACP étendue

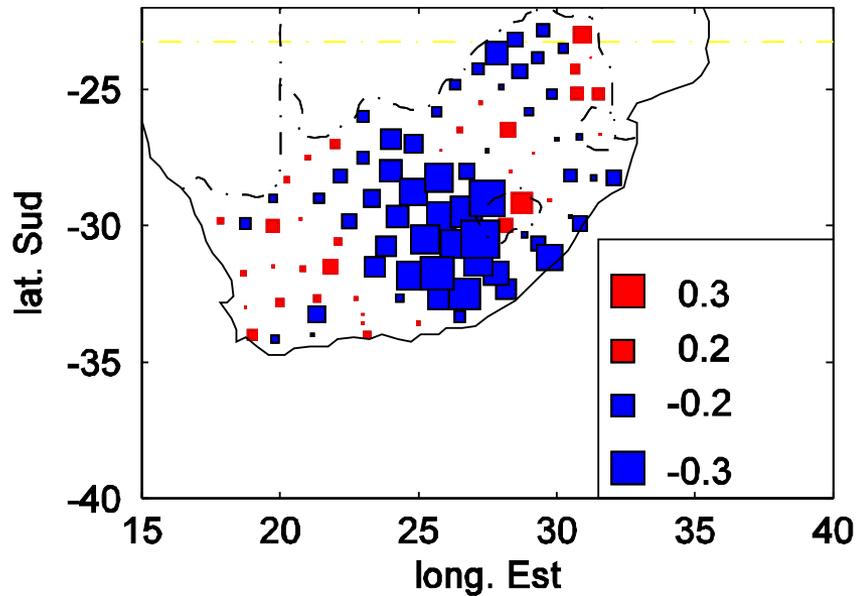


Caractère prédictif des anomalies

Corrélations intra saisonnières entre anomalies pluviométriques

Octobre / Janvier-Avril

Décembre / Janvier-Avril



Octobre sec préfigure un été pluvieux ;

Octobre pluvieux précède un été sec.

Décembre sec : début d'un été sec ;

Décembre pluvieux : début d'un été pluvieux.

2/ Ressource en eau en Afrique australe

Facteurs des anomalies?

8 runs longs (1950-1998) forcés par les TSO mensuelles observées ;

Précipitations in situ, réanalyses NCEP



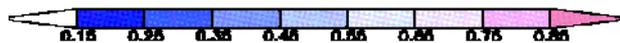
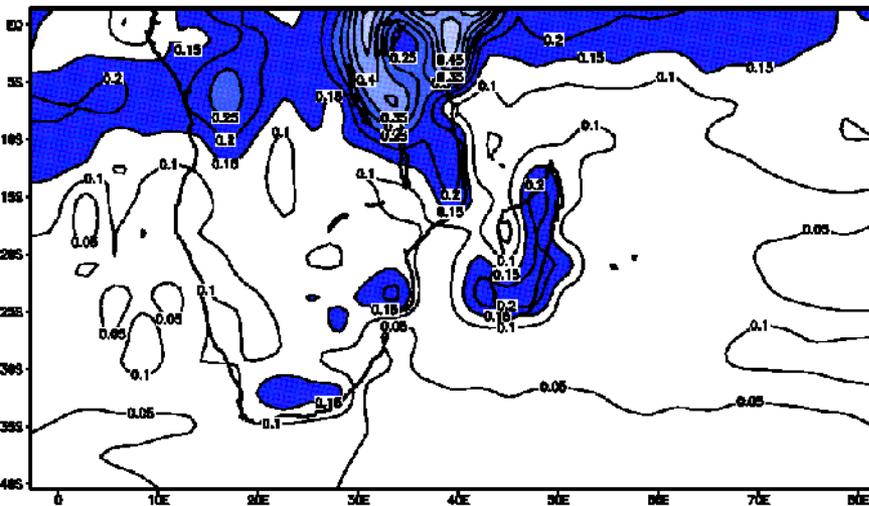
2/ Ressource en eau en Afrique australe

Anomalies pluviométriques forcées par les TSO ?

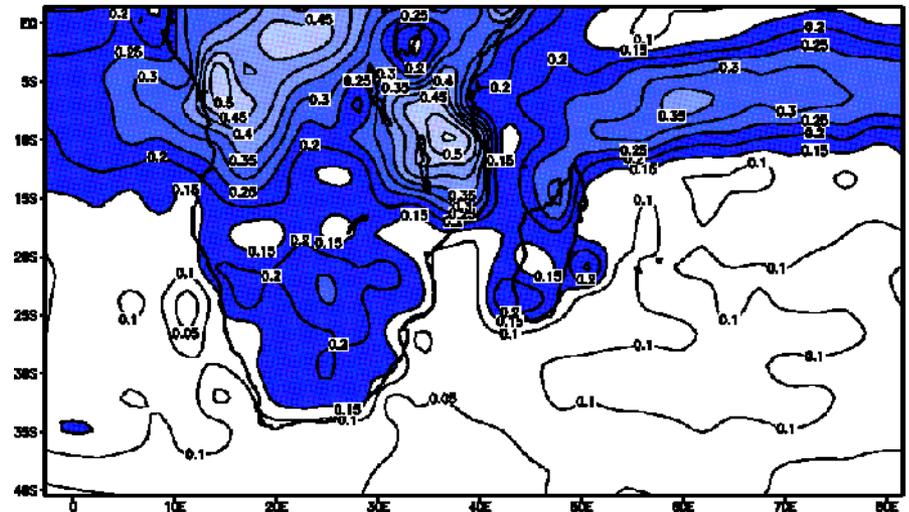
8 runs (1950-1998) CERFACS forcés par les TSO mensuelles observées ;
Analyse de variance entre les 8 runs.

Part de variance forcée par les anomalies de TSO

Septembre-Novembre



Janvier-Mars



Printemps : forçage des TSO < 10%

Été : forçage des TSO > 20%

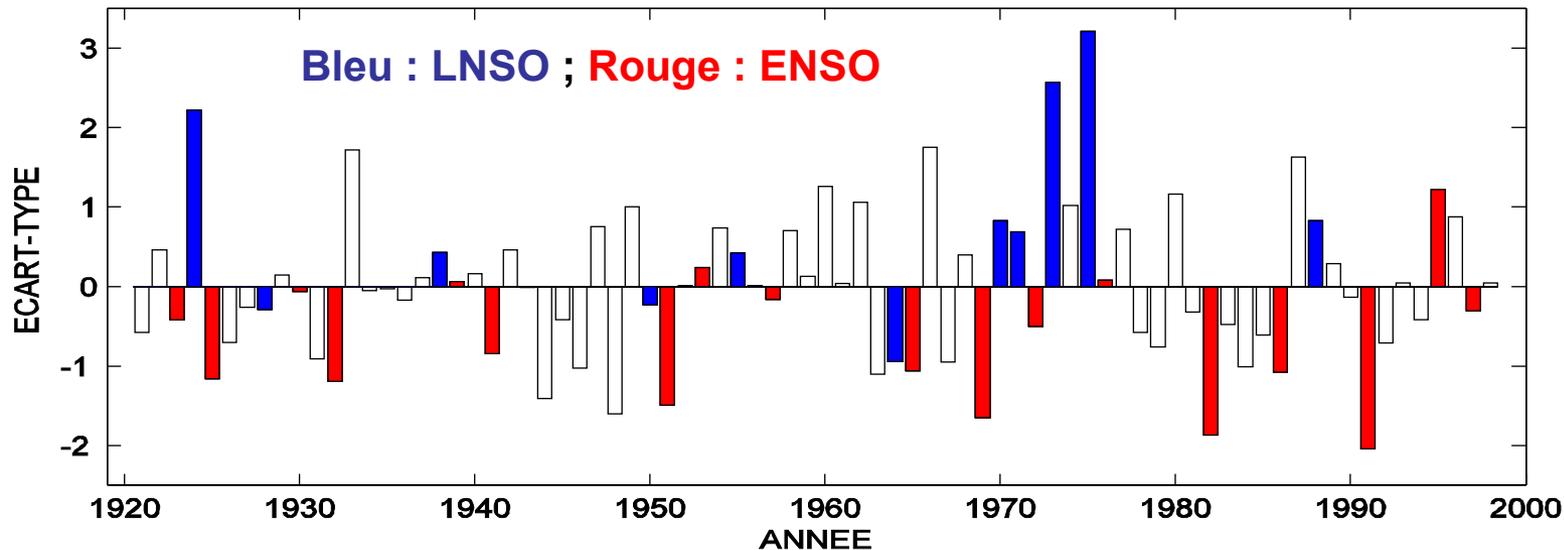
→ **Rôle primordial de la variabilité interne de l'atmosphère**



Thèse de Nicolas Fauchereau (soutenance 02 avril 2004)

Un forçage global : l'ENSO

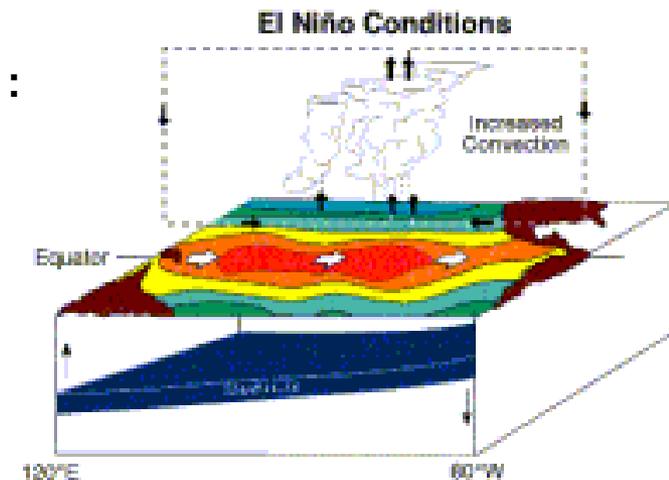
Chronique pluviométrique « Afrique australe » et événements ENSO



Anomalies fortes, souvent lors des événements ENSO/LNSO :

- Années les plus sèche : ENSO ;
- Années les plus pluvieuses : LNSO.

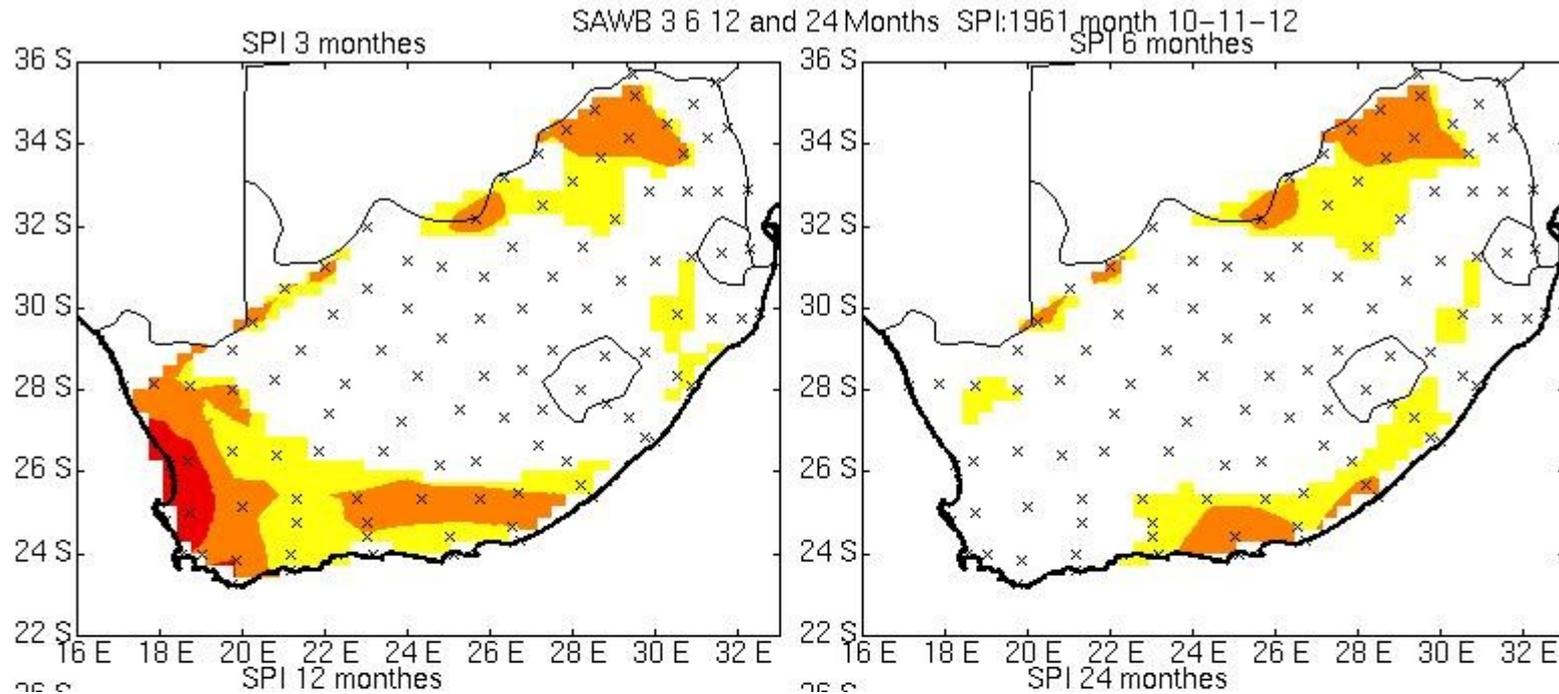
Note : quelques événements ENSO ou LNSO ne se sont pas accompagnés des anomalies « habituelles » : exemple 1997/98.



2/ Ressource en eau en Afrique australe

Un forçage régional : l'océan Indien

Anomalies pluviométriques lors des deux principaux événements dipôles

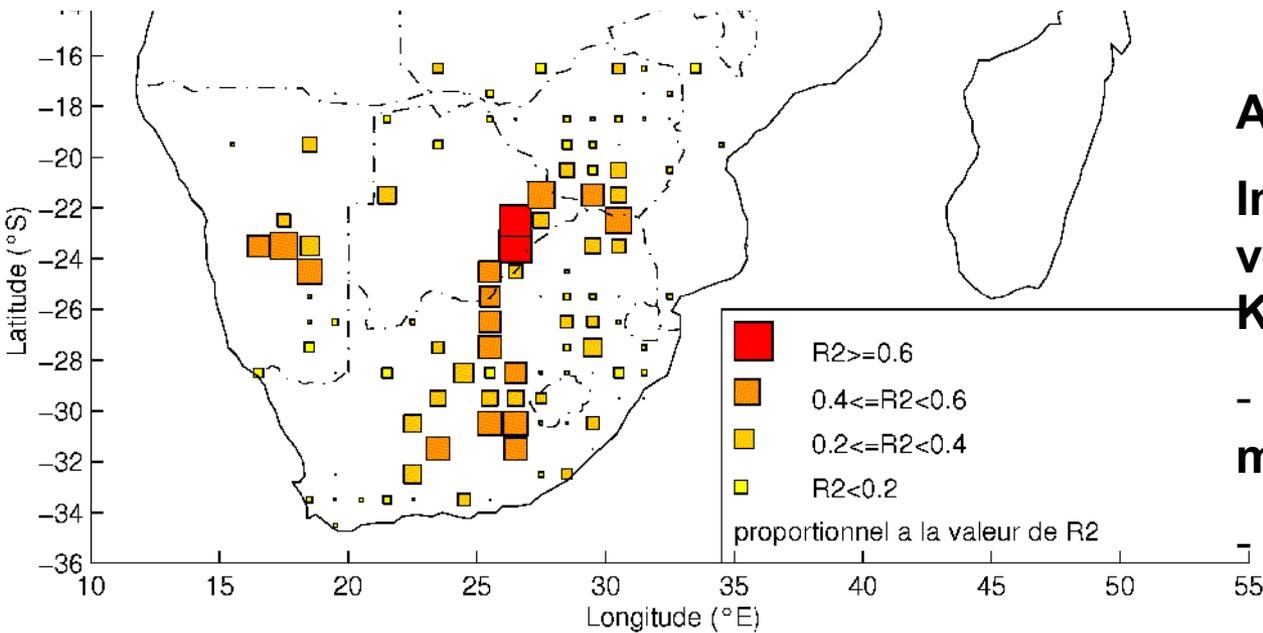


Sécheresses localisées



Quels impacts ? : ex de la végétation

Corrélations entre anomalies pluviométriques et de NDVI



Anomalies pluviométriques :
Impact le plus sensible sur la
végétation sur et autour du
Kalahari :

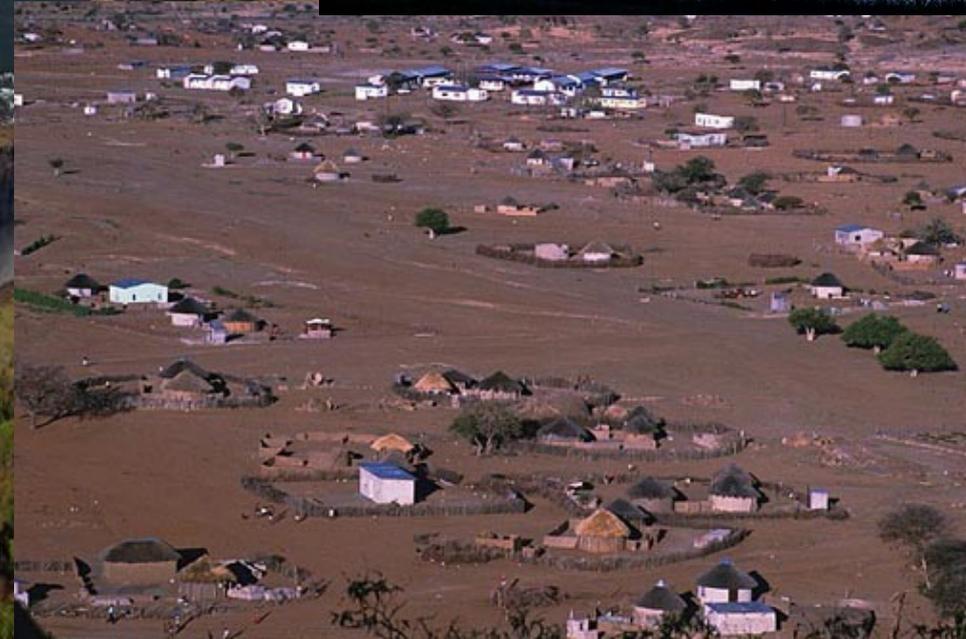
- Climat subaride (300 à 500 mm/an) ;
- Végétation : bush ou veld.

Autre impact : niveau des lacs (Tanganyika)

2/ Ressource en eau en Afrique australe

Variabilité décennale

Les anomalies actuelles sont-elles comparables à celles d'il y a 50 ans?

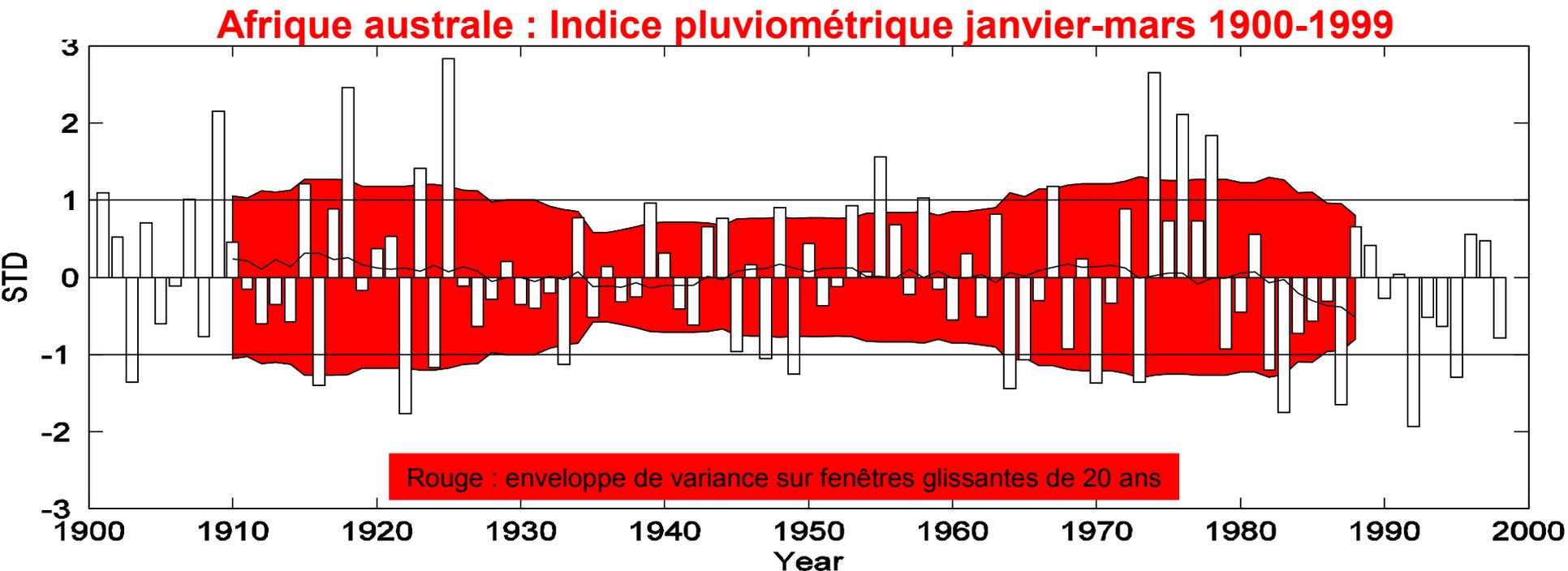


2/ Ressource en eau en Afrique australe

La variabilité interannuelle est-elle d'amplitude constante?

Précipitations CRU, indice pluviométrique par moyenne spatiale ;

Calcul de la variance sur des fenêtres glissantes de 20 ans.



Variabilité interannuelle faible années 40 et 50 ; forte années 70 et 80.



Variation décennale

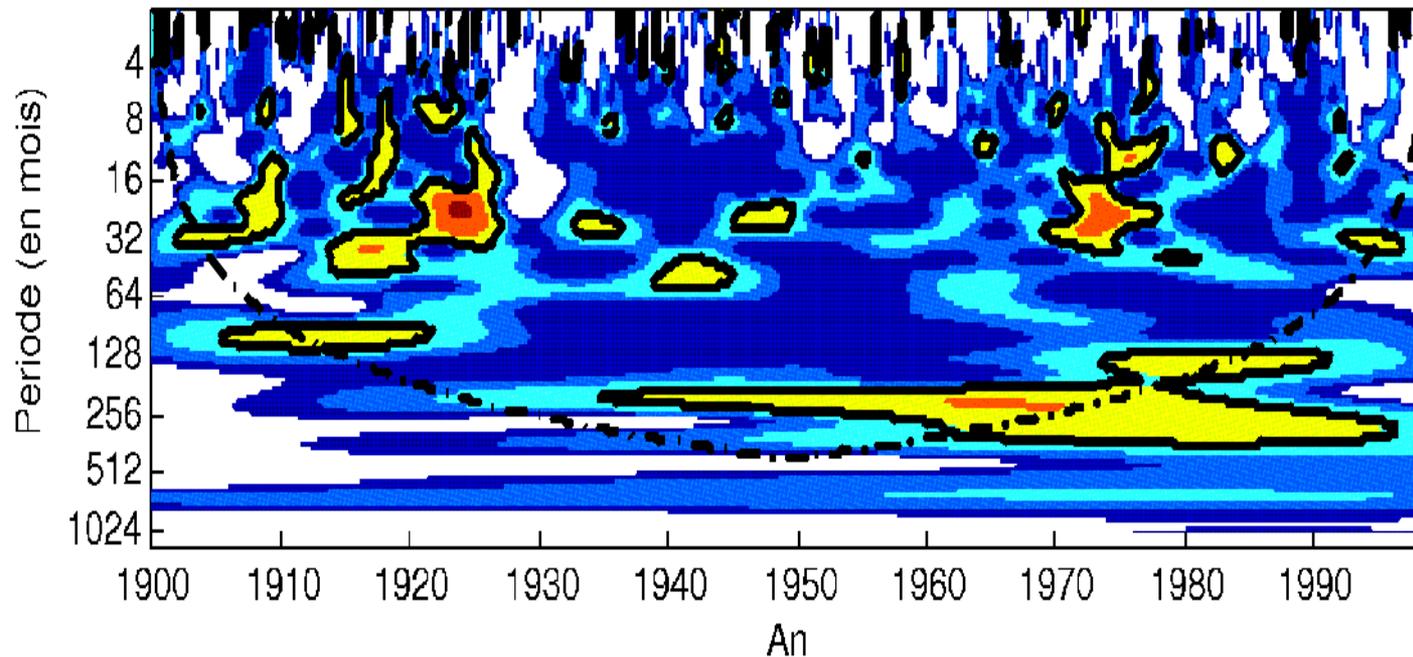
2/ Ressource en eau en Afrique australe

Les cycles sont-ils d'amplitude constante?

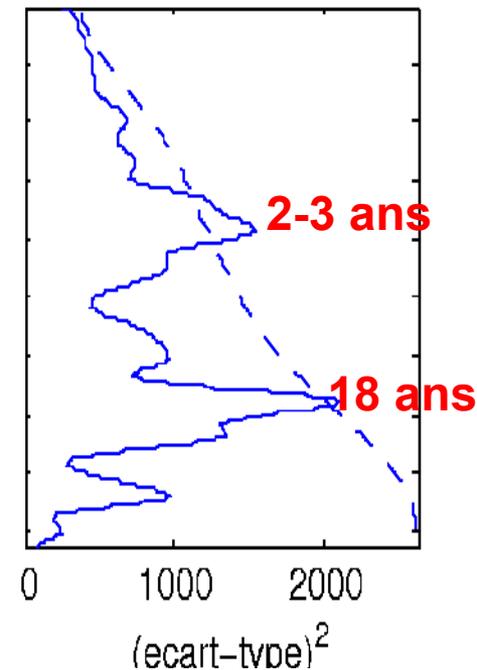
Transformées en ondelettes.

Indice pluviométrique Afrique australe (Janvier-Mars)

b) Puissance spectrale locale des ondelettes



c) Puissance globale



QBO : ponctuellement significatif ;

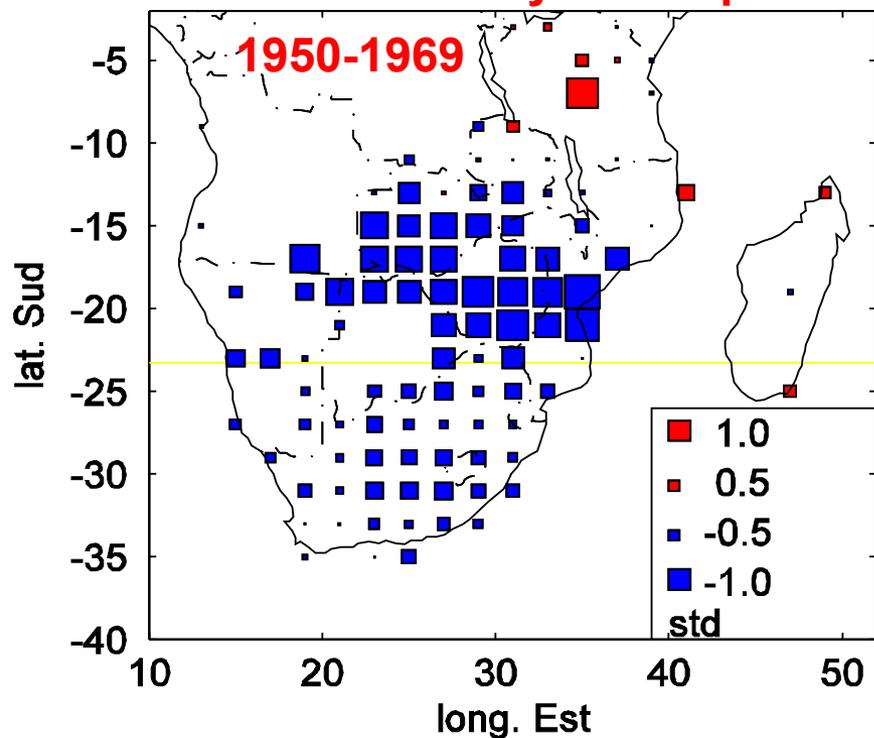
18 ans : significatif depuis 1940, maximal depuis 1970.

2/ Ressource en eau en Afrique australe

Les sécheresses ont-elles la même ampleur ?

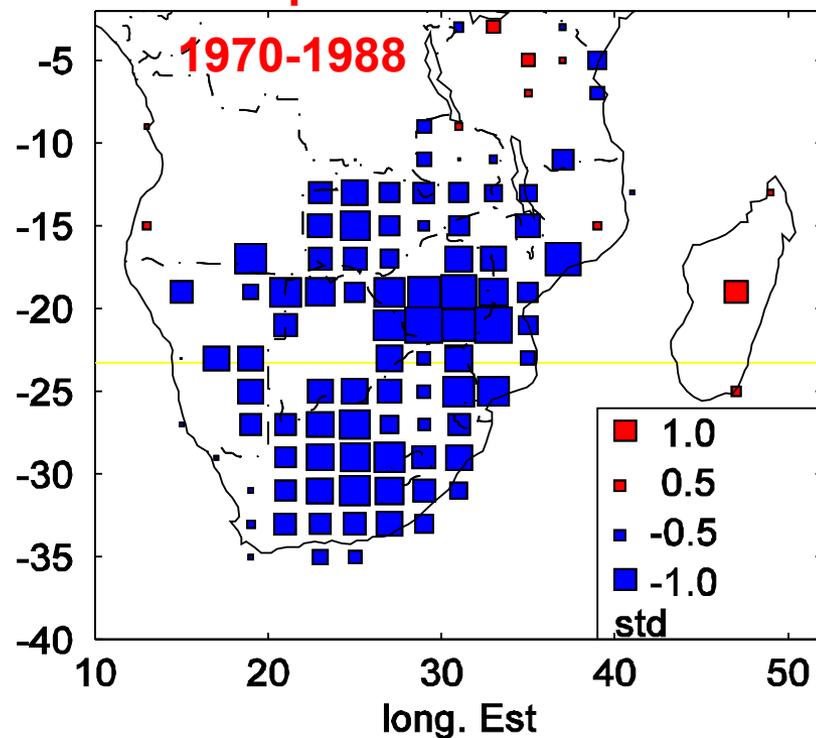
Analyse composite sur les 5 étés les plus secs de deux sous périodes de 20 ans (avant/après 1970).

Analyse composite : 5 Janvier-mars les plus secs



Avant 1970 :

Sécheresses modérées et peu étendues.



Après 1970 :

Sécheresses fortes et étendues.

2/ Ressource en eau en Afrique australe

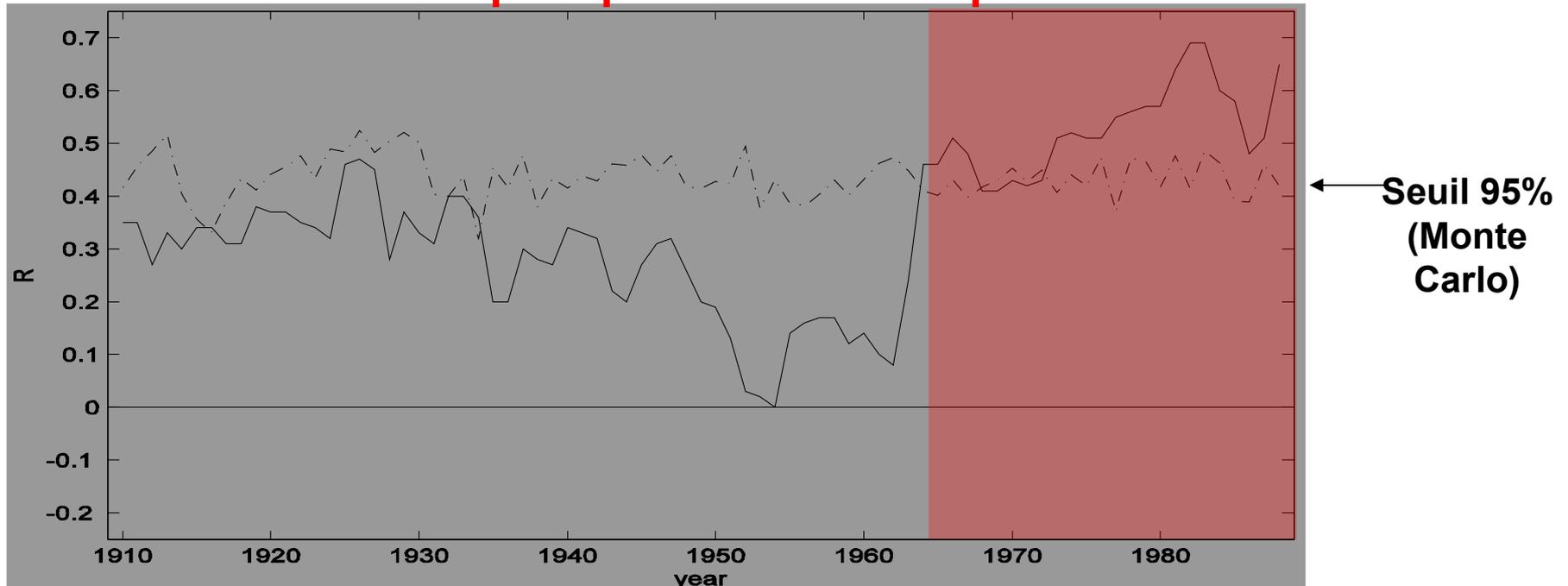
La variabilité pluviométrique a changé, pourquoi (1/4) ?

Observations :

Différence pressions standardisées Tahiti – Darwin ;

Corrélations sur fenêtres glissantes sur 20 ans.

Corrélations entre précipitations en Afrique australe et SOI



■ Corrélations significatives depuis la fin des années 60

2/ Ressource en eau en Afrique australe

La variabilité pluviométrique a changé, pourquoi (2/4) ?

Observations :

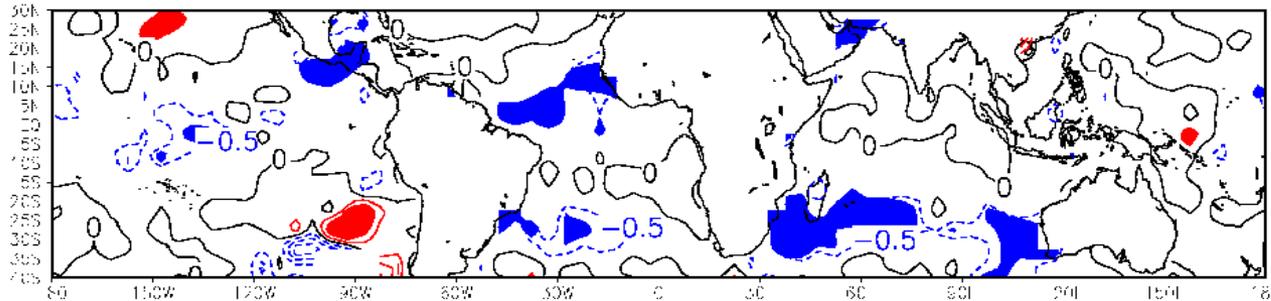
TSO globales : fichier GISST ;

Analyse composite sur 5 été les plus secs de chaque sous-période.

Analyse composite : anomalies de TSO lors des années sèches

SST DURING DRY YEARS (51 60 64 65 68) - OTHERS (50-69)

1950-1969



Avant 1970 :
Anomalies froides,
peu étendues,
subtropicales.

Après 1970 :
Anomalies chaudes,
très étendues,
tropicales (ENSO).

lines : -1.5 -1.0 -0.5 0.0 +0.5 +1.0 +1.5 K

red = WARM / blue = COLD Dashed : Student t-test 95% levels

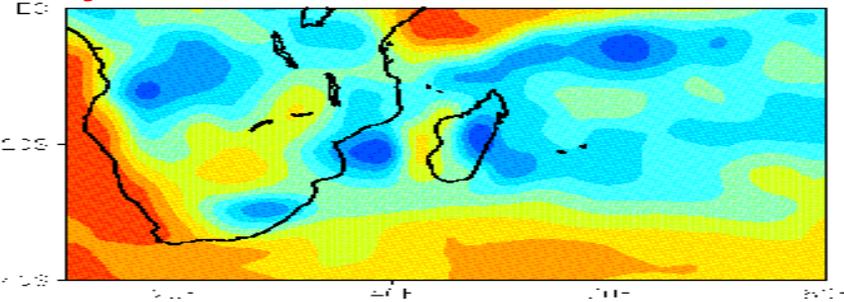
2/ Ressource en eau en Afrique australe

La variabilité pluviométrique a changé, pourquoi (3/4) ?

Simulations : Expériences de sensibilité aux TSO avec ARPEGE Climat (mars).

Précipitations simulées par le MCGA ARPEGE/Climat

Moyennes



Champ correctement reproduit :
- Gradient méridien ;
- Opposition façades ouest/est.

Faibles anomalies

(conforme à l'observation)

s anomalies :
cit sur le continent ;
édent sur l'océan Indien.

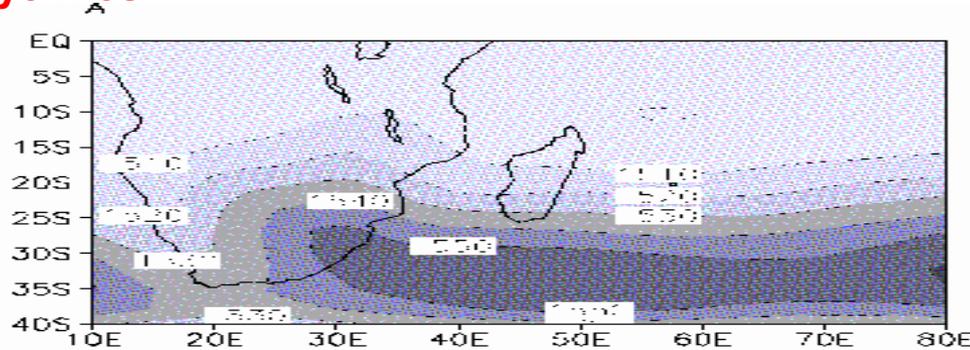
orme à l'observation)

2/ Ressource en eau en Afrique australe

La variabilité pluviométrique a changé, pourquoi (4/4) ?

Niveaux du géopotentiel 850 hPa simulés par le MCGA ARPEGE/Climat

Moyennes



**Champ correctement reproduit :
Basses pressions équatoriales ;
Hautes pressions subtropicales
avec deux centres : Mascareignes
et Sainte-Hélène.**

**tudes : pression élevée:
nent gradient méridien :
ct sur la pluie.**

**nt / océan :
gradient zonal ;
1 sur continent ;
>roche océan**

XX^e siècle

1970 : rupture, pas en volume, mais en variabilité :

1/ Variabilité interannuelle plus forte ;

2/ Sécheresses plus étendues et plus sévères;

3/ Impact de l'ENSO devient prédominant ;

4/ La modification des TSO globales, le réchauffement de l'océan Indien subtropical, induisent des anomalies de circulation lors des ENSO : le gradient de pression continent/océan est atténué, la convection déportée vers le proche océan.



XXI^e siècle ?

Simulations sur modèle couplé océan-atmosphère ARPEGE/OPA.

Concentrations en GES selon le scénario SRES B2.

Expériences de sensibilité (run de contrôle / B2) aux GES sur 1950-2099.

2/ Ressource en eau en Afrique australe

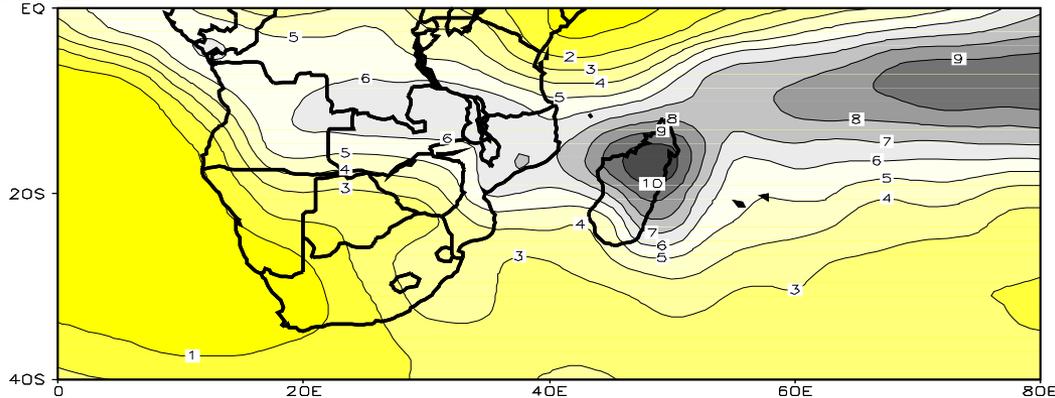
Le modèle simule-t-il correctement le climat actuel (1/2) ?

Précipitations de janvier mars : Réanalyses NCEP et simulations ARPEGE/OPA ;

Simple comparaison.

Précipitations moyennes en Janvier-Mars 1970-1999 (mm/jour)

NCEP



ARPEGE/OPA

Réanalyses :

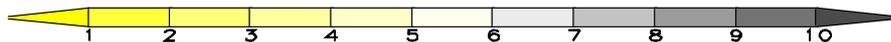
Précipitations maximales associées à la ZCIT.

Gradients Sud/Nord et Ouest/Est sur le sous-continent.

Simulations :

Structures spatiales correctement reproduites.

Forte surestimation des volumes sur le continent (facteur 2 en moyenne).



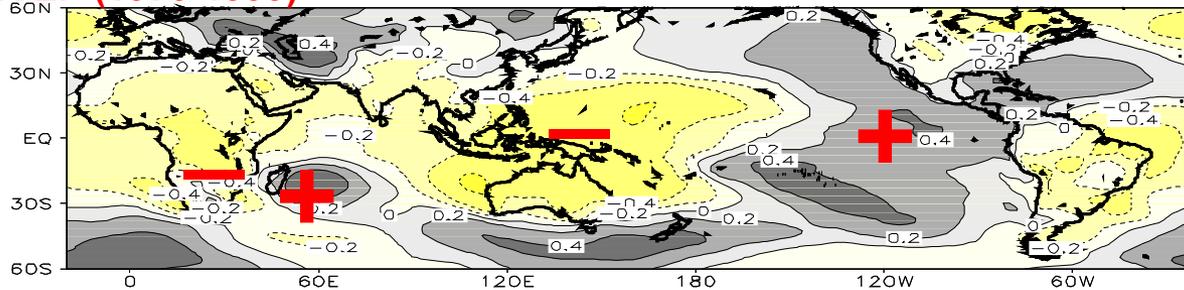
2/ Ressource en eau en Afrique australe

Le modèle simule-t-il correctement le climat actuel (2/2) ?

Comparaisons entre téléconnexions réanalysées et simulées

Précipitations et pression de surface Janvier-Mars

NCEP (1970-1999)

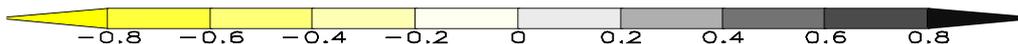


- sur le sous-continent.
- + 0 à l'est de Madagascar.
- < 0 avec structure ENSO.

Structures bien reproduites.

ons et

: plus grande
forçages petite
(NSO).



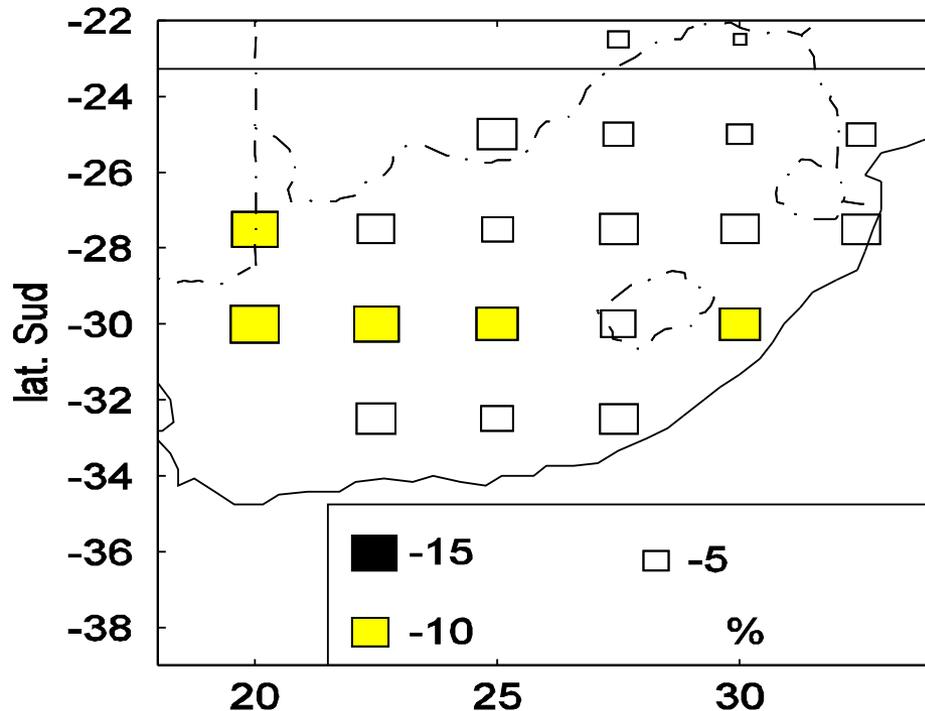
2/ Ressource en eau en Afrique australe

Quelles précipitations en janvier-mars 2070-2099?

Comparaison entre MGCA et modèle statistique de désagrégation régionale basé sur la relation observée entre postes pluviométriques et pression au niveau de la mer (1970-1999).

Précipitations Janvier-Mars 2070-2099

ARPEGE/OPA



Diminution généralisée : 8% en moyenne.

Désagrégation régionale : une approche statistique

Conditions nécessaires :

- 1/ Un réseau dense : *précipitations RSA (données SAWS)* ;
- 2/ Une information fiable à petite échelle : *dynamique dans un MCG* ;
- 3/ Téléconnexions entre circulation petite échelle et champ grande échelle : *Pression au niveau de la Mer (PM) / Précipitations (P) RSA.*
- 4/ Force de travail : *Post Doc ACI : Yan Zhao.*

La technique de transfert :

- 1/ Période d'apprentissage : *1970-1999* ;
- 2/ Une EOF par champs pour filtrer l'information (éliminer le bruit) : *PM et P* ;
- 3/ Une ACC sur les champs filtrés: *PM et P* ;
- 4/ Des regressions multiples sur les k premiers modes de l'ACC : *2 (PM et P)* ;
- 5/ Période de validation : *1950-1969* ;
- 6/ Périodes de projection : *2020-2049* et *2070-2099.*

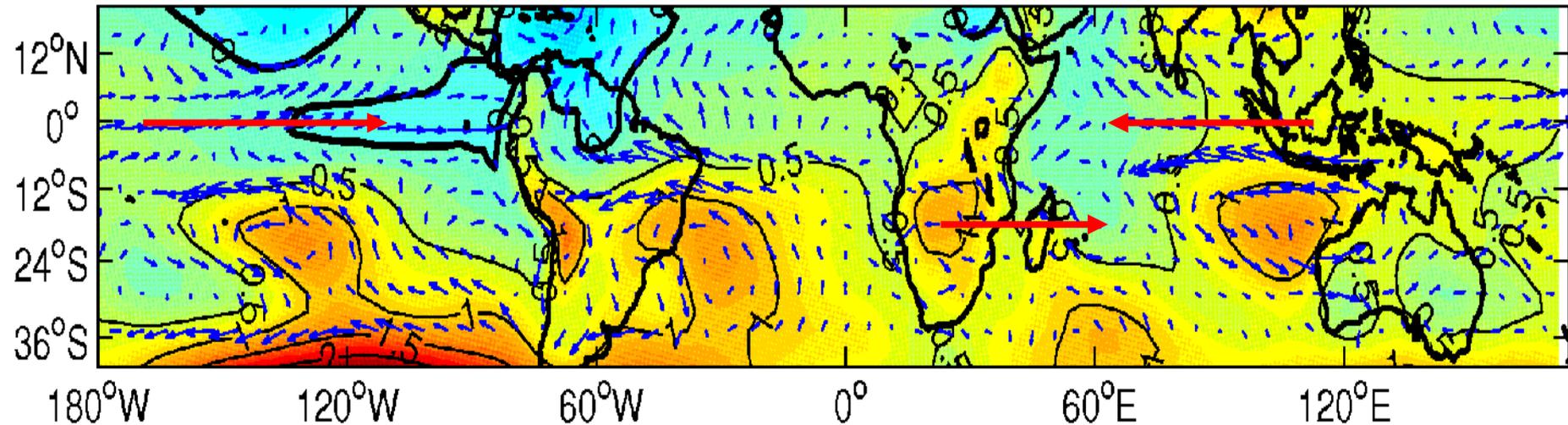
2/ Ressource en eau en Afrique australe

Qu'est ce qui peut expliquer la diminution simulée au XXI^e siècle?

Hypothèse : L'augmentation des GES induit une intensification du cycle de l'eau :
+ d'évaporation, + de convection.

Elle induit aussi des modifications de la circulation.

Pression au niveau de la mer et vent à 850 hPa 2070/2099 – 1970/1999



L'évolution de la pression affecte la circulation divergente sur le Pacifique et l'océan Indien

Gradient de pression continent/océan atténué : convergence se déplace vers l'océan Indien.

Modèle désagrégation : seule la pression est considérée : diminution des pluies est plus marquée.

Cette configuration rappelle celle qui intervient lors des ENSO depuis 1970....

Conclusions

XX^e siècle : Les pluies n'ont pas diminué, demande et aléa ont augmenté.

Amplification des sécheresses : pas de causes locales type déforestation.

Pour partie liée au réchauffement de l'océan Indien
du à l'augmentation des GES.

Africains : pas à l'origine de
l'augmentation de l'aléa mais
Pays du Nord émettent les GES.



XXI^e siècle : La ressource va
diminuer par combinaison :

- Augmentation de la T° (donc de l'évaporation) ;
- Diminution (même modeste) des précipitations liée à des modifications de la circulation et non à une quelconque diminution de l'eau précipitable.

Perspectives

1/ Variabilité fine des pluies en Afrique du Sud

Etudes d'impacts : des échelles temporelles et spatiales plus fines sont indispensables. Les produits actuels rendent cette approche possible.

Étudier la répartition quotidienne des précipitations : nombre de jour, volume par jour de pluies et identifier des types de précipitations (527 stations SAWS).

Rechercher les liens avec des types configurations atmosphériques (réanalyses NCEP II 1979-2003).



Prochains sujets de maîtrise et de DEA

Perspectives

2/ Impact de la circulation atmosphérique sur la pluie et la végétation

A échelle spatiale fine (quelques Km) le satellite: précipitations (GDR MST-ATR) et activité photosynthétique (NDVI).

Variations spatiales et temporelles des pluies et de la végétation sur des zones tests (Nord-Mozambique, Veld sud-africain, ...).

Désagrégation régionale pour décrire le lien entre circulation petite échelle (NCEP II) et végétation grande échelle (pluie et NDVI).



Demande de 2 ans de post-doc (projet DECCAT)

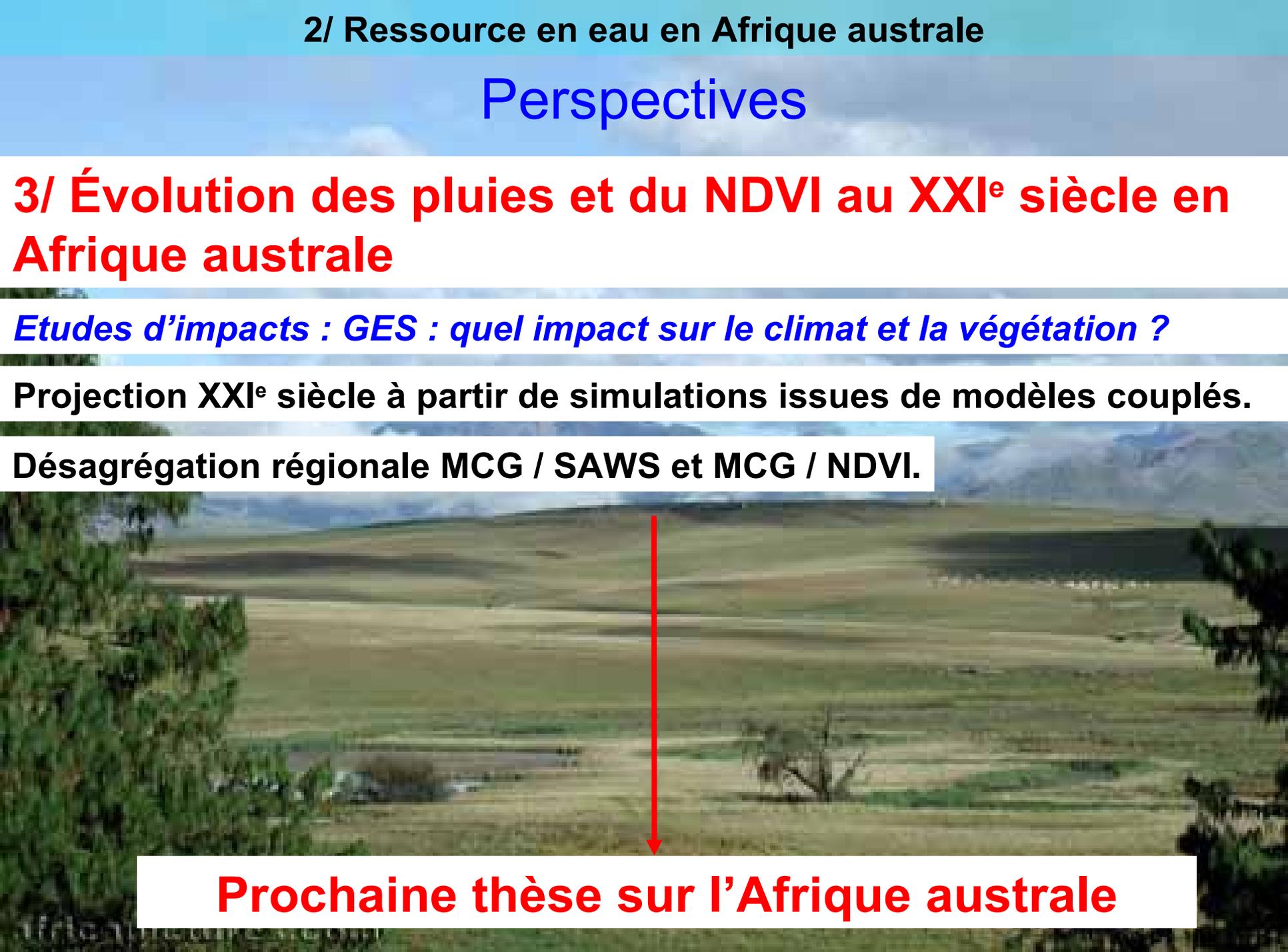
Perspectives

3/ Évolution des pluies et du NDVI au XXI^e siècle en Afrique australe

Etudes d'impacts : GES : quel impact sur le climat et la végétation ?

Projection XXI^e siècle à partir de simulations issues de modèles couplés.

Désagrégation régionale MCG / SAWS et MCG / NDVI.



Prochaine thèse sur l'Afrique australe

Ces résultats ont été publiés et présentés

	Publications	Communications
France / Francophonie	AIC La Météorologie Méditerranée L'Espace Géographique Sécheresse Historiens et Géographes Cahiers d'Outre Mer	AIC Géopoint Théoquant E.D. (Dijon, Orsay, LMD)
International	Inter. J. of Climatology, Inter. J. of Remote Sensing J. of Hydrology Climate Dynamics Natural Hazards Water South Africa Climate Research	EGS SMA SASAS AMS

Ils ont été soutenus par des programmes

Participation à des programmes nationaux :

- PNEDC (ECLAT) ;
- IRD (ECOFIT) ;
- PNEDC (LOTI).



Proposition et coordination de programmes :

- ACI (Variabilité et changement climatique en Afrique du Sud) ;
- PICS (Rôle de l'océan Indien sur la pluviométrie en Afrique australe) ;
- Conseil Régional et ATMOSF'air BOURGOGNE (Qualité de l'air en Bourgogne) ;
- Université BQR (Qualité de l'air en Bourgogne).

Financement de :

- Allocation de Thèse (3ans, Marie-Laure Houzé) ;
- Post Doc (17 mois, Yan Zhao) ;
- Accueil de collègues étrangers (Atanasio Manhique, Henry Mulenga, Mathieu Rouault) ;
- Séjours à l'étranger (Nicolas Fauchereau et Sylwia Trzaska à Cape Town) ;
- Équipement (Terminaux X, PC), colloques, abonnements



Et ont eu des répercussions sur mes enseignements

Enseignement spécialisé en MASTER (DEA) :

**L'ozone stratosphérique ;
GES et changement climatique ;
Lien Climat / Végétation en Afrique.**

Enseignement généraliste en LICENCE (DEUG / LICENCE) :

**Environnement France ;
Géosphère ;
Méthodologie (télédétection, statistique).**

Ouverture sur la société / vulgarisation

**Science en fête ;
Bar des sciences ;
Muséum d'histoire naturelle de Dijon
France 3 Bourgogne ;
Radio Notre Dame ;
Radio Campus.**



Ils correspondent pour le CRC à :

De nouvelles thématiques : qualité de l'air, relations climat végétation, climat niveau des lacs ;

De nouvelles collaborations internationales : Afrique du Sud, Zambie, Mozambique, Chine, Roumanie ;

De nouveaux partenaires en Bourgogne (ATMOSF'air, ENESAD, GEOSOL)

et en France (ORSAYTERRE) ;

De nouveaux types de financements (Conseil Régional, ATMOSF'air).

Merci à tous mes partenaires

Géographes physiciens

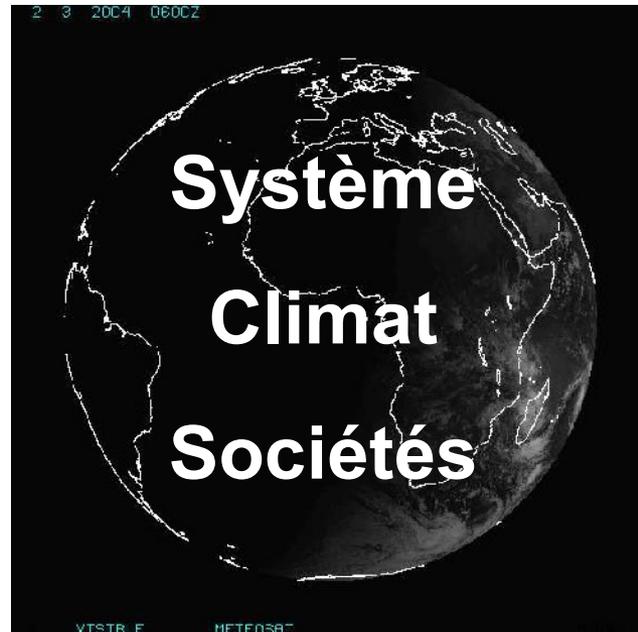
20 Membres ou ex-membres du CRC (Bigot, Camberlin, Chabin, Diop, Fauchereau, Fontaine, Houndenou, Houzé, Long, Marcel, Mbayi, Moron, Pérard, Philippon, Planchon, Pocard, Roucou, Santiago, Trzaska, Viro) + Beltrando, Ronchail
(CRC, Dijon ; LMD et PROGIG, Paris)

Géographes humains

Mannone, Passegué
(THEMA, Dijon)

Chimistes

Monteiro, Siéja
ATMOSF'air, Dijon)



Hydrologues / Environnement

Amiotte-Suchet, Bergonzini, Castel, Gasse, Levêque
(GEOSOL, ENESAD, Dijon, ORSAYTERRE, Orsay, CEREGE, Marseille)

Océanographes

Manhique, Rouault
(Maputo, Cape Town)

Météorologues

Chevrant, Mihailescu, Mulenga, Taboulot, Thévenin, Zhao
(Météo-France, Dijon, Lyon ; Constanta ; Cape Town)