



Conférence Parménides IX – GID-CIHEAM – Bari – octobre 2021
Gestion durable des bassins versants méditerranéens face aux impacts des changements sociétaux et climatiques

Denis Lacroix
Systèmes agro-pastoraux et érosion des sols :
cas des terres submersibles

Ingénieur agronome spécialisé en aquaculture tropicale et méditerranéenne pendant 30 ans, Denis Lacroix a créé en 2006 la fonction de veille et de prospective à la direction scientifique de l'Ifremer. Il a participé à divers travaux portant sur les énergies renouvelables, l'environnement à 2100, la montée du niveau de la mer... Il est membre de plusieurs réseaux de prospectivistes, français et européens.



Résumé

Les deltas et les terres basses côtières sont souvent riches et à fort potentiel productif. Mais que se passe-t-il si le niveau de la mer monte ? Ce phénomène, universel, inexorable, est lié au changement climatique et donc en accélération. Les projections du GIEC indiquent un ordre de



grandeur de l'ordre du mètre de hausse à la fin du siècle, ce qui va entraîner une reconfiguration d'ampleur de ces terres et de leurs usages possibles. De plus, les modalités de gestion de l'eau dans le bassin versant, notamment via la construction de barrages, ont des conséquences sur l'évolution des terres côtières. Peut-on anticiper ces évolutions à l'échelle de l'écosystème du bassin pour en conserver le maximum de potentiel utiles pour l'homme tout en préservant au mieux sa durabilité ? La prospective peut-elle éclairer les choix stratégiques dans ce domaine ? Ces questions mobilisent des expertises pluridisciplinaires et exigent une approche de long terme pour élaborer des solutions pérennes. Par ailleurs, il n'existe pas de solution universelle aux problématiques rencontrées, ce qui implique un travail spécifique d'adaptation aux contraintes locales.

Mots-clefs : terres basses côtières, deltas, submersion, salinisation, prospective

Communication

Introduction :

Le changement climatique est maintenant une réalité acceptée par la majorité des décideurs et de l'opinion publique. Mais si certaines de ses conséquences, comme les vagues de chaleur ou la fonte des glaciers apparaissent bien associées à ce changement, la montée du niveau de la mer n'est pas toujours considérée comme un autre de ses effets. Pourtant cette élévation apparaît aujourd'hui comme une des conséquences majeures du changement climatique même si son ampleur et ses impacts à terme restent difficiles à quantifier et à placer dans le temps. Il est donc utile d'essayer de clarifier les données de cet enjeu car, si les impacts de cette élévation sont encore faibles aujourd'hui, la majorité des projections portent à penser que l'accroissement du niveau de la mer va s'accélérer pendant des décennies, voire des siècles. De fait, l'interface terre-mer, pris au sens large, est un espace d'autant plus fragile qu'il est proche du niveau de la mer. Or le développement des activités humaines est facilité par l'accessibilité par la mer et la disponibilité de zones planes constructibles. Les premiers ports étaient sur des côtes rocheuses avec des rades naturelles faciles à défendre avec des fortifications élevées (Marseille, Gênes, Constantinople, Alger...). Mais la maritimisation de l'économie à partir du XVIIe siècle a conduit à développer les ports à grande échelle ainsi que toutes les activités associées dans des zones côtières basses. Aujourd'hui, cet avantage est devenu une vulnérabilité. De nombreux grands ports dans le monde, et les grandes villes qui se sont développées autour, ont déjà entrepris des travaux de protection contre la submersion et les inondations (Londres, Rotterdam, Bangkok...) et certains pourraient même être relocalisés dans leur ensemble comme Djakarta. Le croisement de ces deux dynamiques, celle de



la hausse inexorable du niveau de la mer et celle de la croissance continue des activités humaines dans les zones basses côtières constitue donc un enjeu majeur avant même la fin de ce siècle et encore plus au-delà de 2100 .

La montée du niveau de la mer impacte les plaines agricoles côtières

La mesure de la montée du niveau de la mer et l'étude des phénomènes qui sont impliqués dans son équilibre dynamique n'ont cessé de se perfectionner depuis un siècle en complément des études sur la température. De nombreux capteurs ont été mis au point, des satellites aux flotteurs *in situ*, sur toute les côtes du monde y compris en Antarctique. En parallèle, des programmes de traitement des données et de modélisation ont permis d'intégrer des masses croissantes d'informations en synthèses assez précises et de faire des projections sur les décennies à venir avec les marges d'incertitude acceptables pour les décideurs.

Le dernier rapport du GIEC donne une fourchette d'élévation du niveau moyen de la mer allant de 29 à 110 cm selon les hypothèses minimales ou maximales de réchauffement climatique ([Oppenheimer et al., 2019](#)). Mais la valeur haute des projections (+110 cm) pourrait être dépassée surtout si la fonte des calottes glaciaires devait continuer à s'accélérer ([Bamber et al, 2019](#)). Ces projections ont été longtemps négligées par la plupart des pays pour des raisons d'inertie politique et d'opposition des intérêts économiques. Mais, elles ont été peu à peu prises au sérieux au fil des conférences internationales sur le climat et des observations des dérèglements climatiques. Cet enjeu concerne directement l'Europe car nombre de plaines basses agricoles et grands deltas sont déjà affectés: Rhône, Pô, Rhin-Meuse, Tamise...

Des enjeux de salinisation et d'agriculture

Cet espace côtier au sens large, caractérisé par une forte concentration de population et une croissance urbaine et économique rapide concentre aussi les incertitudes et les risques. Associée à la réduction des apports en eau douce, notamment dans de nombreux pays subtropicaux, la submersion des terres basses s'accompagne d'une salinisation croissante des sols et des nappes phréatiques ([Hereher, 2010](#)). Ainsi, ce phénomène, observé depuis 30 ans dans le bas delta du Nil en Egypte comme dans la plupart des deltas d'Asie, notamment celui du Mékong, a fait disparaître de vastes zones de production agricole, en riziculture principalement. A contrario, il a permis à l'aquaculture en eau saumâtre de se développer à grande échelle avec une progression sur la période de cent mille à un million de tonnes. Les effets de l'élévation annoncée du niveau de la mer ne se limiteront pas à la frange littorale. Ils se feront de plus en plus sentir à l'intérieur des terres, par exemple par une difficulté accrue d'écoulement des eaux augmentant les surfaces



inondées et donc les dégâts lors des crues ou une modification de l'hydro-morphologie des fleuves dont le profil en long sera recalé par des dépôts de sédiments modifiant les écosystèmes aquatiques et la sécurité de certains ouvrages hydrauliques. De même, l'apparition de vastes zones humides, voire de lagunes ou lacs saumâtres de plus en plus à l'intérieur des terres pourrait avoir des conséquences en termes de pathologie humaine notamment en matière de maladies à vecteur comme les moustiques.

Des centaines de millions de personnes ainsi que toute l'économie littorale associée sont déjà concernées par la montée du niveau marin. Cependant, les contrastes sont forts entre des pays riches, comme les Pays-Bas, et les pays pauvres, comme le Bangladesh, ce qui sera une source supplémentaire de migrations massives si cela n'est pas anticipé. Dans la pratique, le plus souvent, il ne s'agit pas de dresser un mur mais de conserver une interface vivante avec la mer et de restructurer les espaces côtiers dans la profondeur. A l'échelle d'une commune comme à celle d'un État et des organisations internationales, les décisions finales sont le plus souvent des compromis, avec une grande difficulté d'estimation du ratio coûts/bénéfices sur le long terme.

L'intérêt d'une approche prospective

Comment concevoir le littoral anthropisé sur le long terme sous la menace croissante de la montée du niveau de la mer, au moins jusqu'à 2100, en prenant en compte les risques de « tempête parfaite » (conjonction de toutes les menaces potentielles) sur au moins certains points du littoral ? Comment garder compatibles l'expansion des activités maritimes et la sécurité et la pérennité des milieux ? Les échelles de perturbation de l'environnement liées à la montée de la mer sont si considérables qu'elles font apparaître de forts besoins en connaissances dans de nombreux compartiments de recherche. Se projeter à 2100 est donc devenu nécessaire pour décider de manière pertinente à l'horizon 2030.

La prospective irrigue déjà la planification à moyen terme de diverses activités maritimes. Mais la gestion durable du littoral face à un changement aussi global que la montée du niveau de la mer ne pourra émerger sans démarche collaborative alliant sciences économiques et sociales, technologies et projection de choix de gouvernance dans de nombreux domaines : environnement, société, économie, urbanisation, industries, tourisme... en croisant les apports des diverses disciplines. De fait, l'adaptation au changement global dont la dimension marine, constitue déjà parmi les plus importants thèmes de recherche à l'échelle européenne. Ce changement impose donc de restructurer à un horizon au moins de moyen terme les activités humaines sur les terres basses côtières (Piöch, 2017). Cette évolution sera d'autant plus durable et sûre qu'elle sera anticipée, planifiée et accompagnée.



**SYSTÈMES AGRO-PASTORAUX
ET EROSION DES SOLS
CAS DES TERRES SUBMERSIBLES**

GID-CIHEAM

BARI, ITALIE; 19-21 OCT 2021

Denis LACROIX* et Christian VALENTIN**

*Animateur de la prospective à la DG de l'IFREMER

** Directeur de recherche en pédologie à l'IRD

**« Ce qui est simple est généralement faux,
Mais ce qui est compliqué est inutilisable »**

P. Valéry

**« Prenez le changement par la main
avant qu'il ne vous prenne par la gorge »**

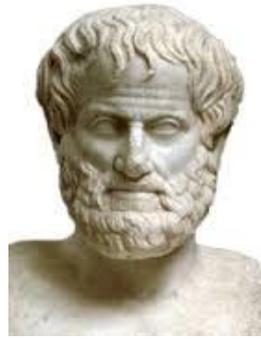
W. Churchill

Plan

1. **Rappel de l'intérêt de la prospective**
2. **Terres basses et submersion**
3. **Sel et sols: dynamiques et conséquences?**
4. **Un exemple d'adaptation réussi**
5. **Conclusion**



1. Pourquoi et comment réfléchir sur le futur?



Le futur est au croisement de 3 ensembles de forces

Déterminisme

(tendances lourdes et principe de causalité)

Destin, fatalité, hasard (« le hasard n'est que la mesure de notre ignorance » H. Poincaré)

Liberté X Volonté X Pouvoir

(la capacité d'exercer des choix)

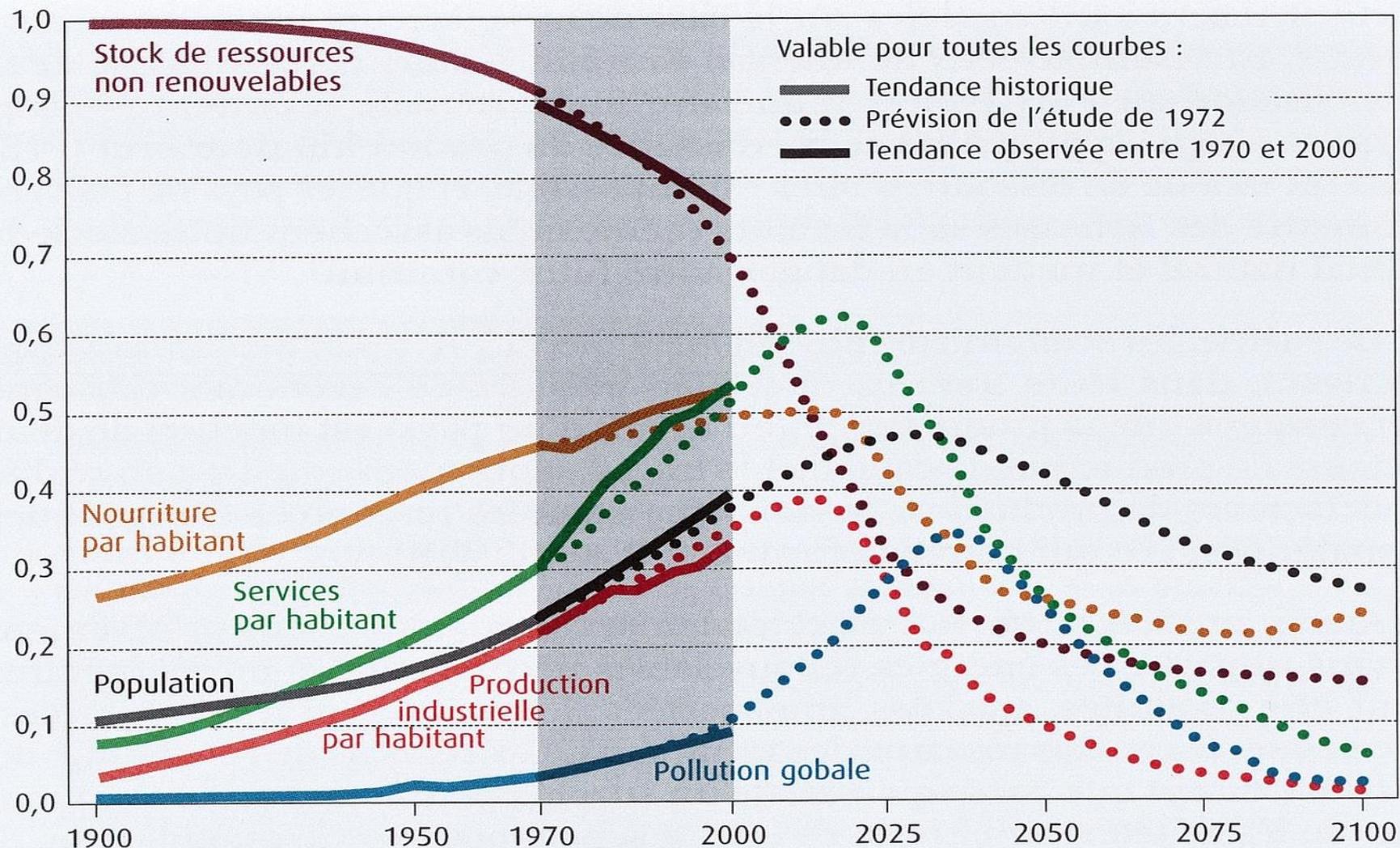
Peut-on alors **élaborer une pensée pertinente sur le futur**
Et en déduire des priorités d'action?

Proposition de définition

Réflexion sur **une question précise**
structurée autour d'un système dynamique à **10 ans**
(min.)
dans un **espace donné**
avec des **variables** et des **acteurs**
admettant des **ruptures**
et visant à **éclairer la réflexion et l'action**



Graphique 1 — Les limites à la croissance : les tendances tracées dans le rapport Meadows confrontées aux évolutions des décennies suivantes



Lecture : ces courbes montrent l'évolution tendancielle des différents indicateurs exprimés en valeurs normalisées. Pour une lecture critique de cette comparaison, voir TURNER Graham M., « A Comparison of *The Limits to Growth* with 30 Years of Reality », *Global Environmental Change*, vol. 18, 2008, p. 397-411.

Source : MEADOWS Dennis et Donella, et RANDERS Jørgen, *Les Limites à la croissance (dans un monde*

Qualités de la prospective

- Renforce le potentiel d'**intelligence collective**
- Améliore le **travail collaboratif** et les **relations personnelles**
- Accroît la **capacité d'anticipation et d'action, de réaction**
- Contribue à la **réduction des coûts**

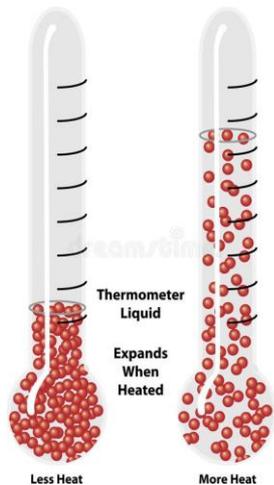
Plan

1. **Rappel de l'intérêt de la prospective**
2. **Terres basses et submersion**
3. **Sel et sols: quelles dynamiques?**
4. **Un exemple d'adaptation réussi**
5. **Conclusion**



Constat premier : la hausse de la mer est liée au réchauffement climatique

Expansion thermique



Fonte des calottes polaires Ampleur incertaine (possible irréversibilité)



Fonte des glaciers continentaux





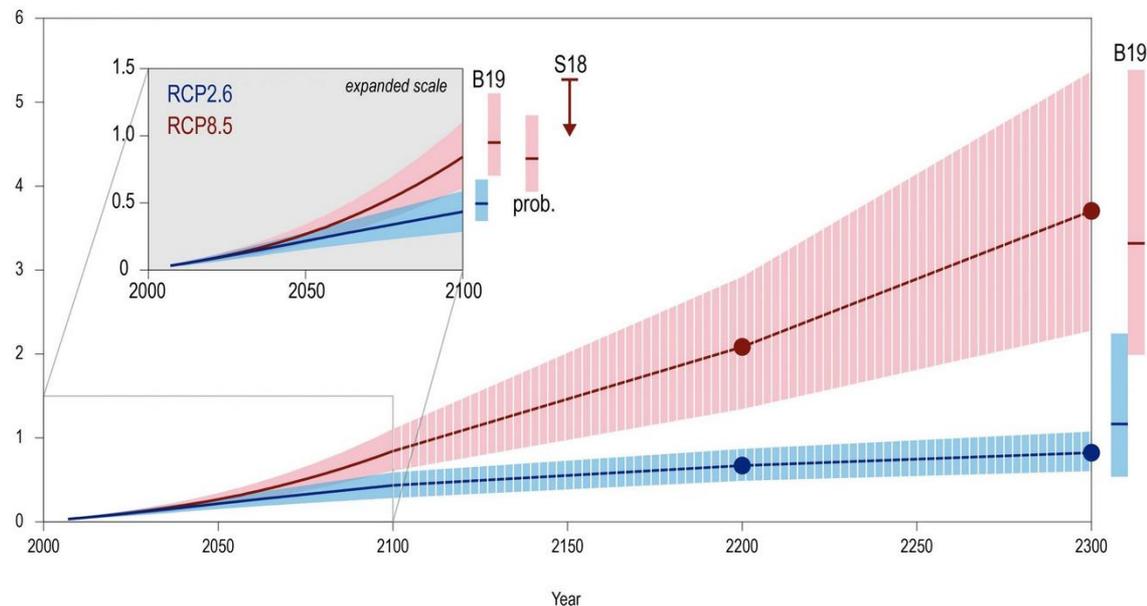
- Constat 2 : c'est une menace ancienne**
3: elle est liée aux tempêtes (Evex)
4: elle érode le littoral
5: elle affecte le monde rural + les villes
6: elle affecte des infrastructures/activités
7: elle offre des opportunités de valorisation
(ex: aquac. eau saumâtre)
8: elle ouvre de vastes domaines à la technologie, l'aménagement et au rêve



La hausse du niveau de la mer : un consensus scientifique

- **50% de l'humanité** vit à moins de 100 km des côtes
- **Hausse** du niveau de la mer, due au changement climatique
- **Augmentation** de la fréquence et de l'amplitude des tempêtes (EVEX)
- **Erosion** du littoral
- Coûts estimés de **1 000 à 100 000 Milliards \$/an** en 2100 (1-80% PIB-M 2020)

Hausse moyenne projetée de 2020 à 2300



L'atténuation du changement climatique est indispensable et doit s'accompagner d'une stratégie d'adaptation

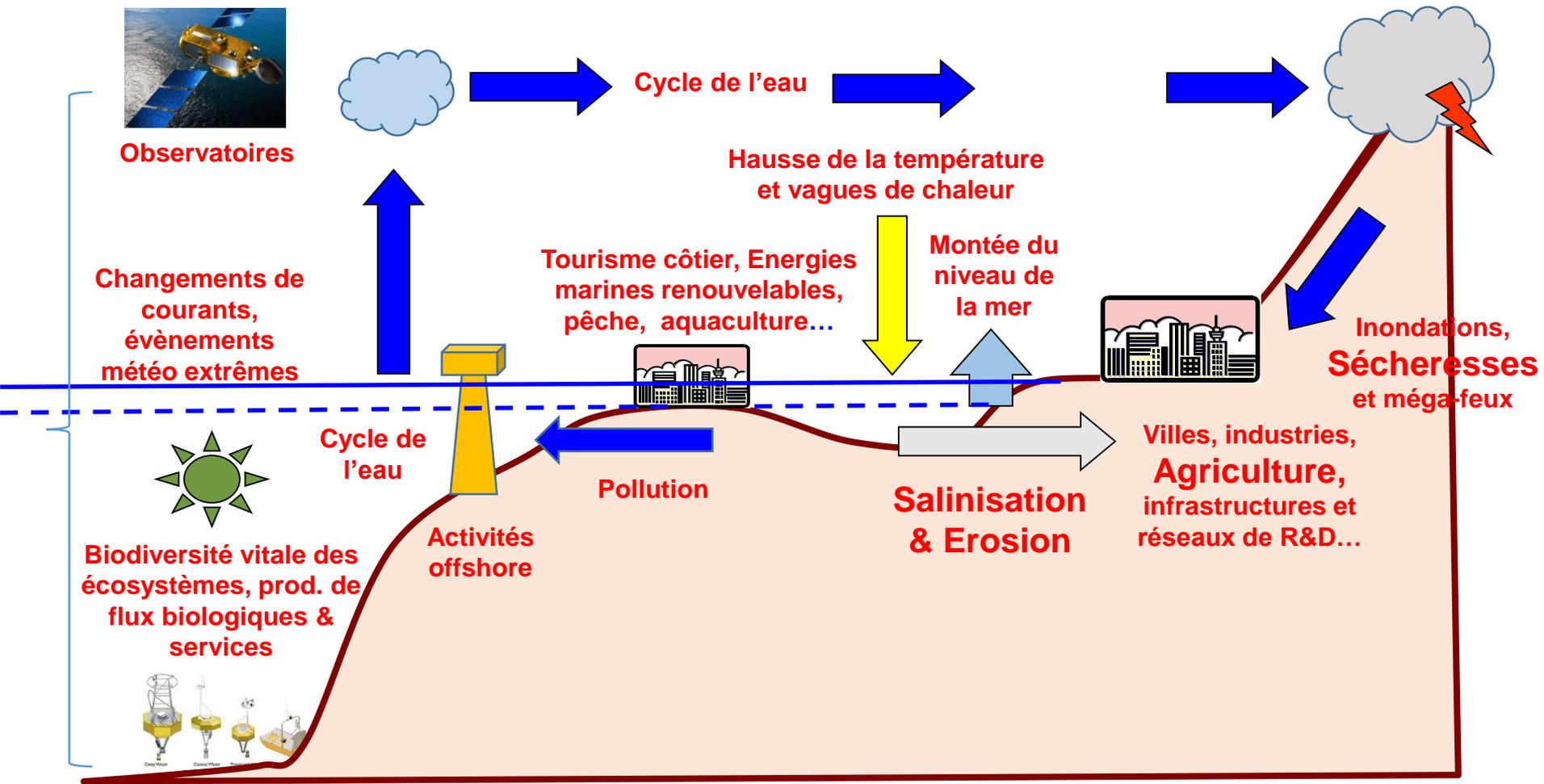


Schéma des grands flux de matières et d'énergie selon les choix des activités humaines et de gouvernance

La montée du niveau de la mer : conséquences et anticipations d'ici 2100

L'éclairage de la prospective

- **Commande du Conseil d'AllEnvi (2017)**
- **20 experts (15 instituts) + 13 auditions**
- **23 variables répartis en 7 « composantes »**
- **3 focus: Vietnam, Pays-Bas*, Aquitaine**
- **9 ateliers + voyage d'étude***
- **Méthode des scénarios**



Le système : 7 composantes et 23 variables

- **Environnement et ressources naturelles**
 - EN1-Etat de la ressource en eau douce (quantité et qualité)
 - EN2-Etat des sols (salinisation, érosion...)**
 - EN3-Dynamiques des écosystèmes littoraux (habitats, biodiv.)
 - EN4-Modification du trait de côte
- **Agriculture et alimentation**
- **Urbanisme et infrastructures**
- **Economie**
- **Population**
- **Gouvernance**
- **Contexte global**



Trois familles de scénarios

8 scénarios regroupés en **3 familles** :

- **Adaptation** du littoral
- **Déni** du phénomène du changement climatique
- **Monde fragmenté**

Scénarios présentés selon les critères :

- **Effort d'adaptation littoral**
- **Effort d'atténuation du changement climatique**

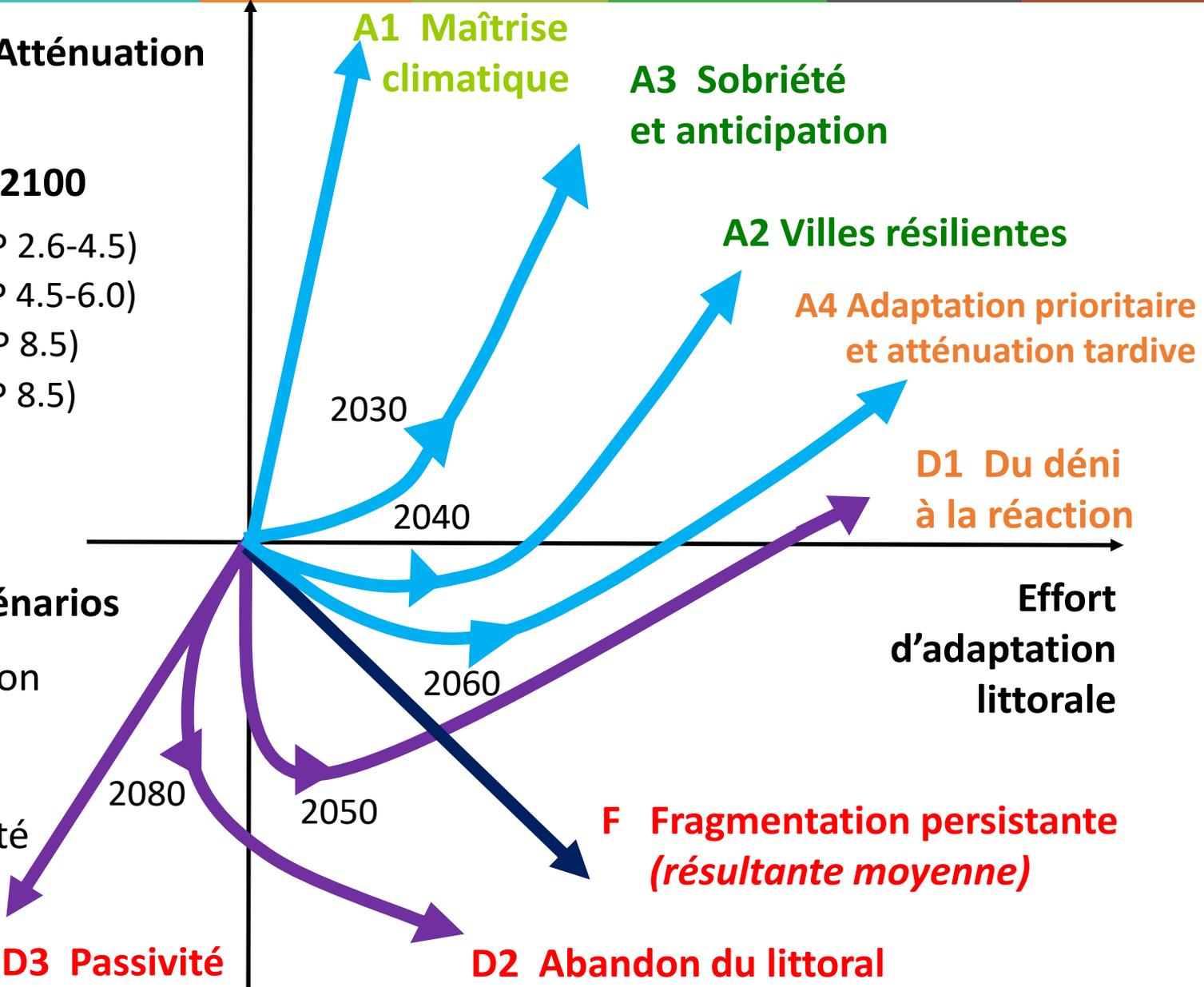
Atténuation

Etat physique à 2100

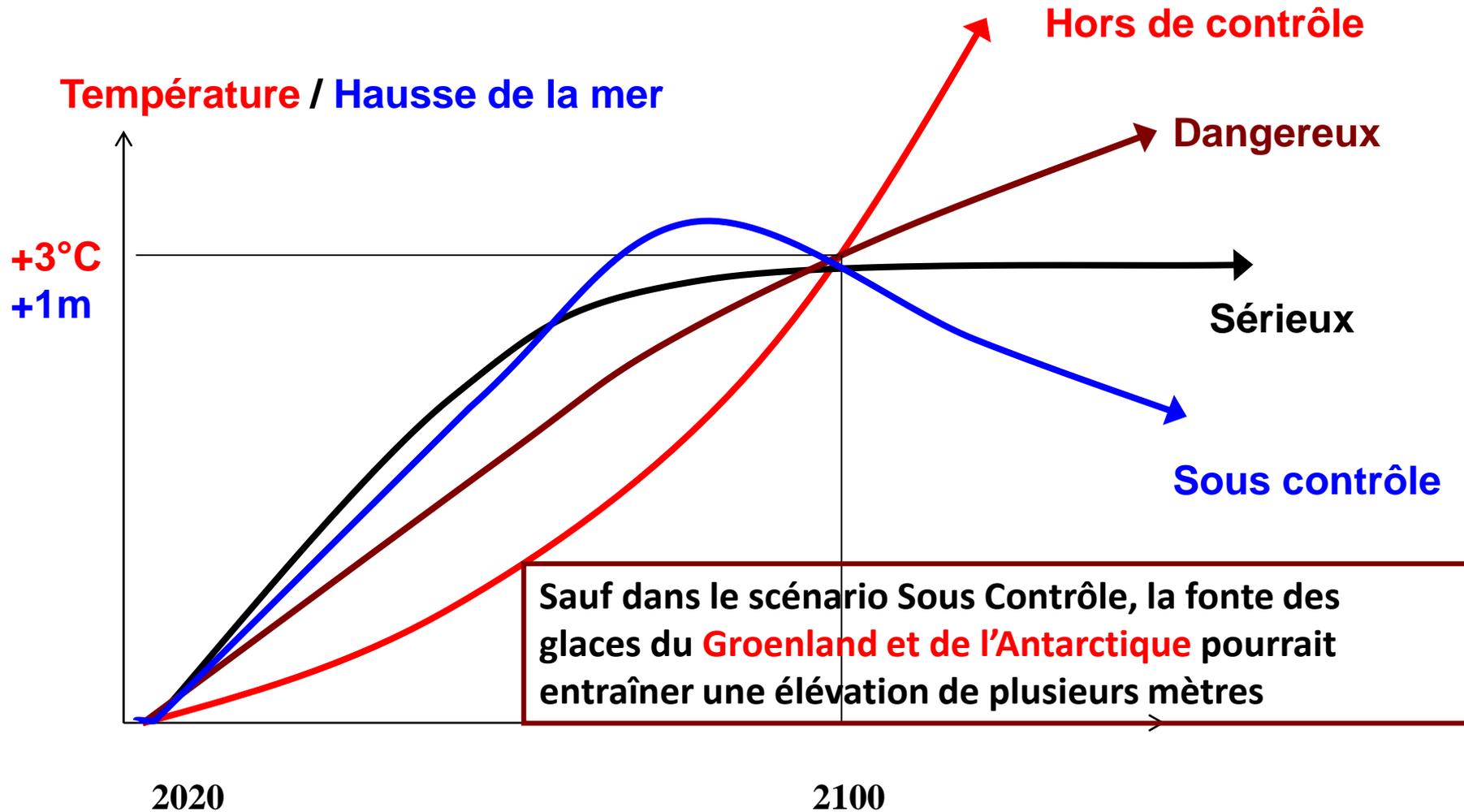
- Modéré (RCP 2.6-4.5)
- Sérieux (RCP 4.5-6.0)
- Grave (RCP 8.5)
- Extrême (RCP 8.5)

3 familles de scénarios

- Adaptation
- Déni
- Monde fragmenté



La clef: la dynamique du changement climatique



Plan

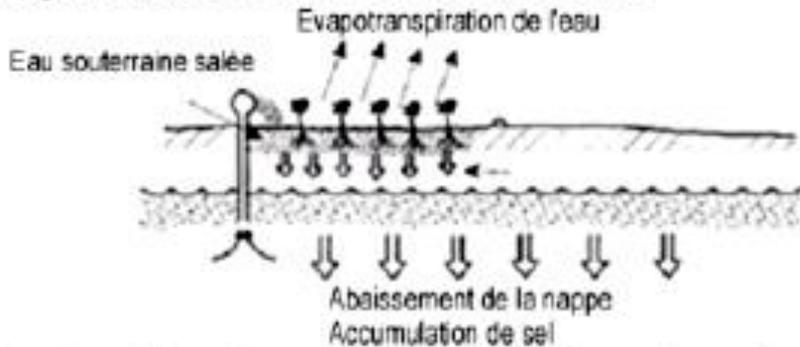
1. **Rappel de l'intérêt de la prospective**
2. **Terres basses et submersion**
3. **Sel et sols: dynamiques et conséquences?**
4. **Un exemple d'adaptation réussi**
5. **Conclusion**

Croûtes salines, Metlaoui
(Tunisie) J.P. Montoroi



Causes

1. Irrigation avec de l'eau souterraine salée



Salinisation primaire

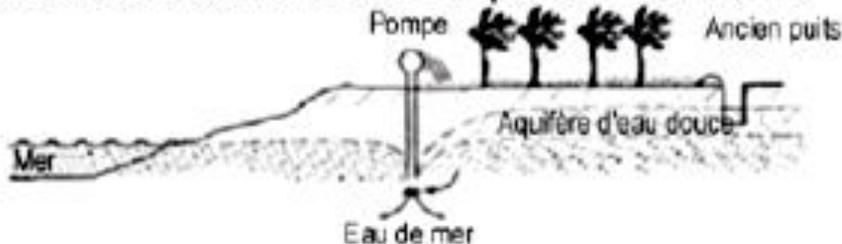
(= naturelle) : 80% des sols salés. Origine : altération des roches.

Salinisation secondaire :

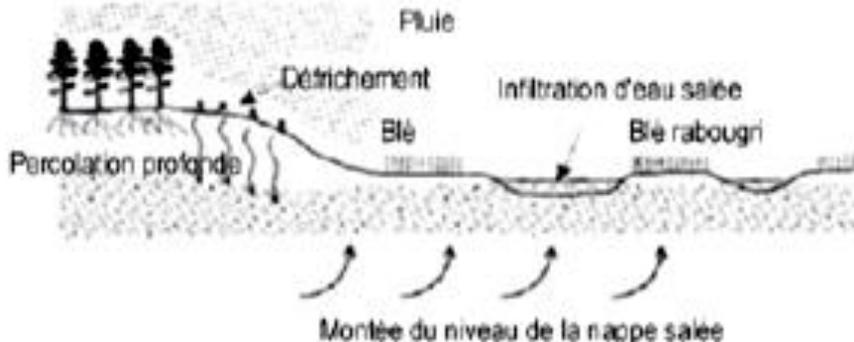
d'origine anthropique : 20% des sols salés. Origines :

- Irrigation
- Intrusion saline côtière (excès de pompage)
- Défrichement qui provoque la remontée d'une nappe salée.

2. Intrusion d'eau de mer dans les aquifères d'eau douce

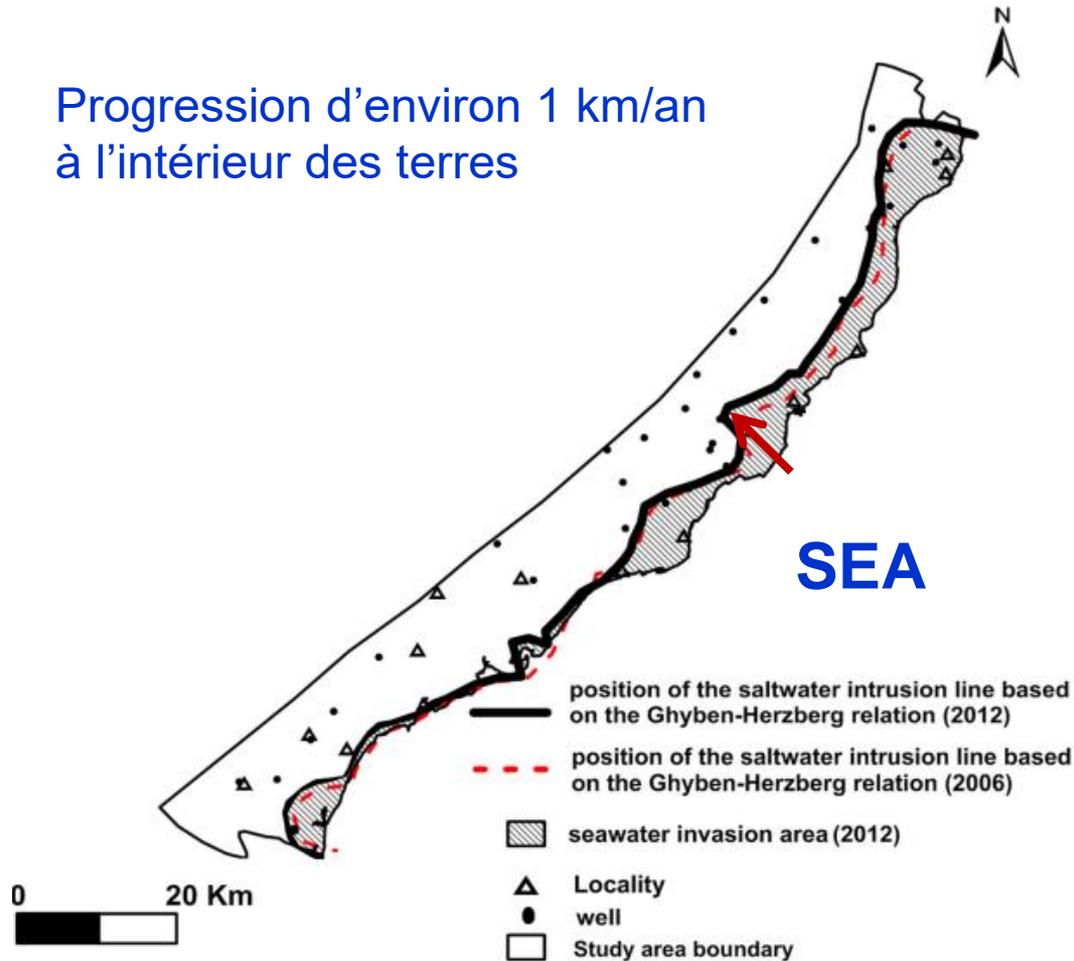


3. Montée du niveau d'une nappe salée due au défrichement



Intrusion saline par excès de pompage Tunisie centrale (Sfax)

Progression d'environ 1 km/an
à l'intérieur des terres



Oliveraie soumise à la salinisation, Institut de l'Olivier de Sfax

Trabelsi et al., 2016 *Environmental Earth Sciences*, 75(8), pp.1-19.

C. Valentin, The critical zone as a conceptual framework for time and space scale interactions in the water, energy and food security nexus. Future Earth days, 2016

Conséquences : la stérilisation des sols

- Augmentation de la succion nécessaire par les racines des plantes pour absorber l'eau (humidité du point de flétrissement plus élevée).
- effet similaire à celui de la sécheresse
- Peu de plantes adaptées au taux élevés de sels.



Plantation ratée de grenadiers, irrigation goutte à goutte, région de Kairouan, Tunisie. (Photo. J.P. Montoroi. IRD).

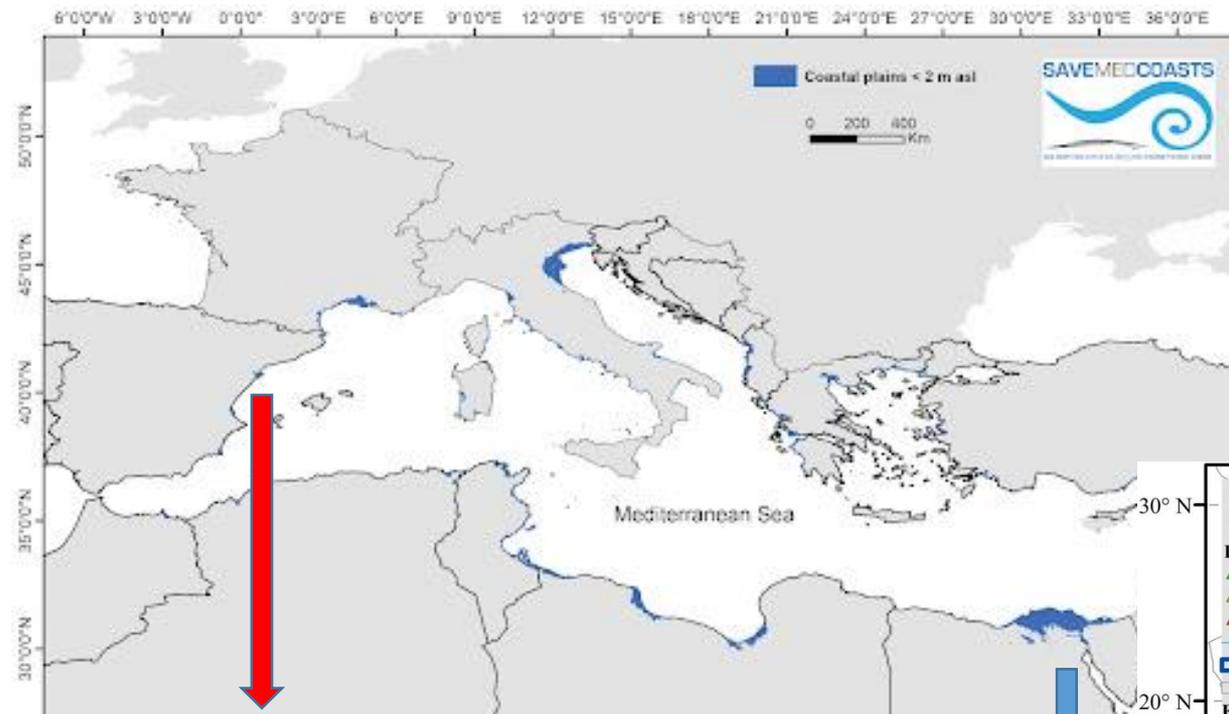
Khatteli Het al.2016. , Soils and desertification in the Mediterranean region. In : Thiébault S. (ed.), Moatti Jean-Paul (ed.). The Mediterranean region under climate change : a scientific update. Marseille : IRD ; AllEnvi, 2016, p. 617-625.

Plan

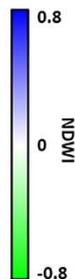
1. **Rappel de l'intérêt de la prospective**
2. **Terres basses et submersion**
3. **Sel et sols: dynamiques et conséquences?**
4. **Un exemple d'adaptation réussi**
5. **Conclusion**



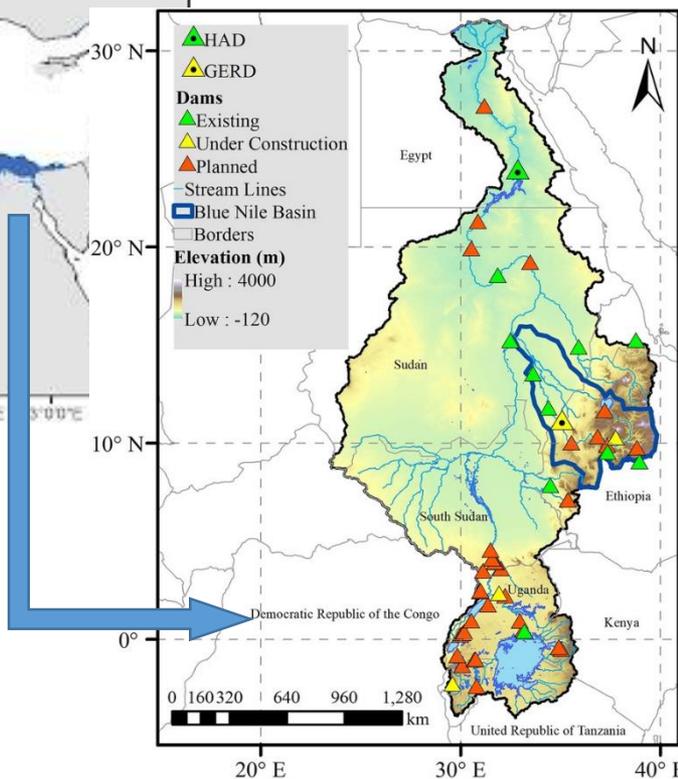
Rappel 1: Tous les deltas et côtes basses sont vulnérables par l'aval comme par l'amont



Plaine côtière inférieure à 2 m d'altitude

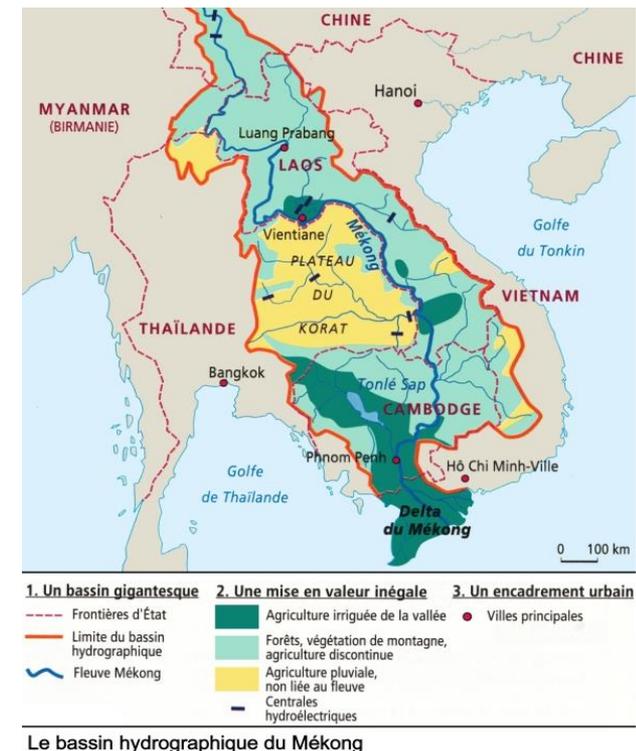


Seulement 4% du débit du Nil à l'entrée en Egypte parvient à la mer



Rappel 2: les deltas et côtes basses sont vulnérables à la gestion de l'eau tout le long du bassin versant; ex: Vietnam

- **Pays vulnérable à 2 deltas**, très peuplés; forte activité agricole et industrielle (Mékong delta: 50% du riz; 75% prod aquacole)
- **Subsidence delta accélérée par les barrages, (11 + 8 projets / 4 pays), pompages et extraction** → SLR X 4! Soit en cumulé: **- 1,5 cm/an**)
- **Problèmes aigus vers 2050** (*17 millions de personnes à déplacer*)
- **En avance de phase** des autres côtes basses dans le monde (environ 50 ans)



Un exemple d'adaptation réussie en Egypte

Problème : **salinisation des terres** du bas-delta, grenier à riz du pays
Quelle **prospective** pour cet enjeu “**vert**” devenu “**bleu**”?



Menaces de la hausse de la mer sur le bas delta

- Land covered by 0.5 m rise
- Land covered by 1.0 m rise

Population: 6 100 000
Cropland (Km²): 4 500



Alexandria

Suez canal

Cairo, 100 km South

Comment transformer une **contrainte** en **atout**?

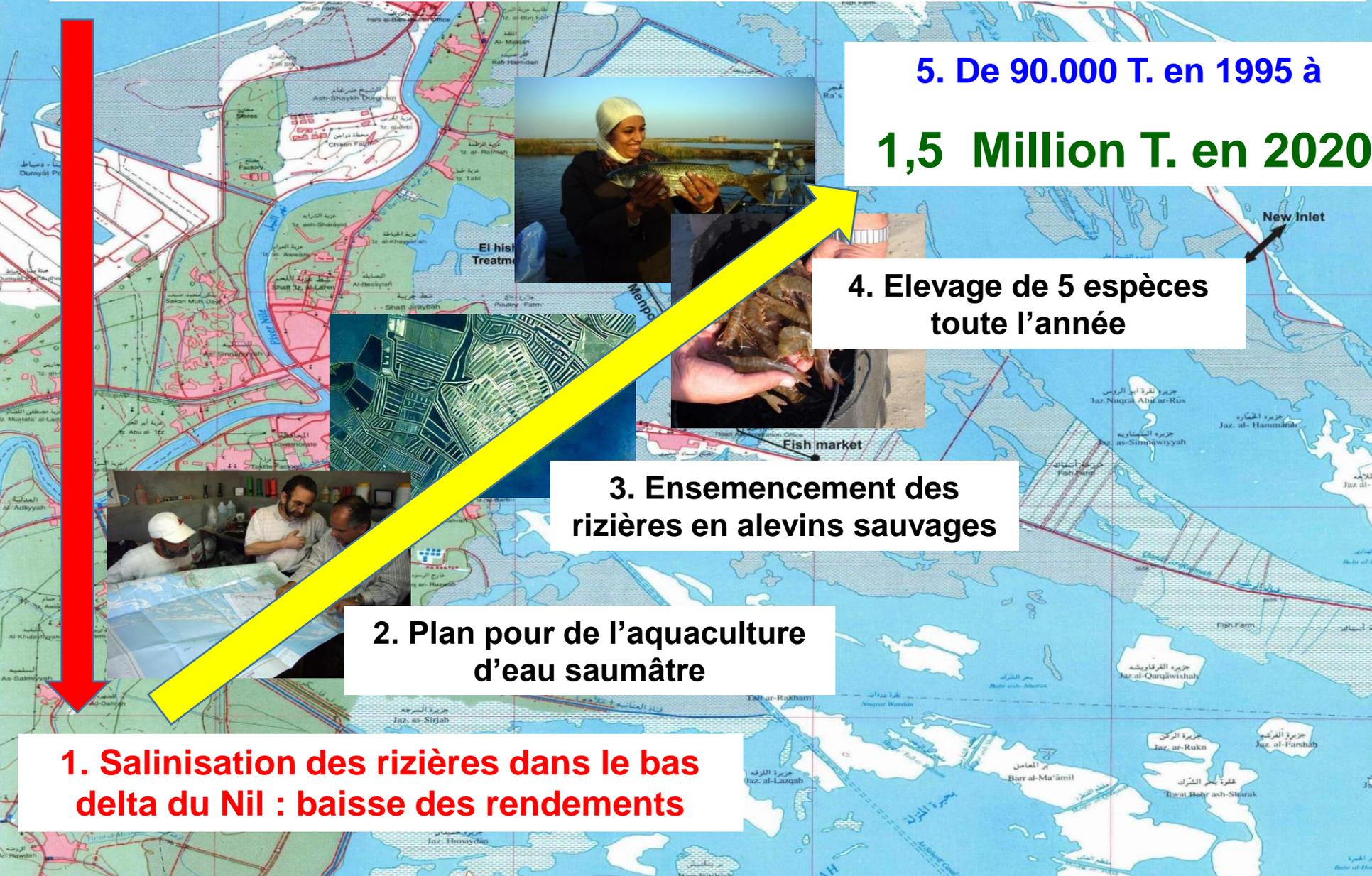
1. Salinisation des rizières dans le bas delta du Nil : baisse des rendements

2. Plan pour de l'aquaculture d'eau saumâtre

3. Ensemencement des rizières en alevins sauvages

4. Elevage de 5 espèces toute l'année

5. De 90.000 T. en 1995 à 1,5 Million T. en 2020



Plan

1. **Rappel de l'intérêt de la prospective**
2. **Terres basses et submersion**
3. **Sel et sols: dynamiques et conséquences?**
4. **Un exemple d'adaptation réussi**
5. **Conclusion**



Conclusions

Élévation inéluctable à l'échelle du siècle

Fonction de **l'intensité/durée du réchauffement climatique**

Les sols côtiers sont **vulnérables par l'aval comme par l'amont**

La salinisation n'est pas toujours une catastrophe et peut aussi constituer **une opportunité**

Une anticipation précoce et massive limiterait les efforts d'adaptation littorale, les crises et les coûts

La recherche joue un rôle central pour **comprendre** et **quantifier**

La prospective contribue à **éclairer** les choix stratégiques de gouvernance et à **accompagner** les transitions nécessaires

Bref, des changements radicaux s'imposent !



Exposition EDF Hydro Sud-Ouest et Cartooning for Peace, juillet 2021. Auteur : RIBER (Suède)

Remerciements particuliers au Groupe de travail: Adaptation à la hausse du niveau de la mer - IHEST Promotion Michel Serres 2020 - 2021



« **Apprenons à éviter l'ingérable**

Pour gérer l'inévitable »

Groupe international pour l'étude du climat

« **La science et le progrès ne sont plus**

des sirènes qui attirent, mais des sirènes d'alarme.

Ce qui menace les hommes, c'est leur propre puissance »

J. d'Ormesson (Le rapport Gabriel)

