

La construction de la valeur des données spatiales : le cas SWOT.



Sylvain Lenfle

Contribution du spatial face aux enjeux de l'eau

Colloque SHF – 21 janvier 2021

Brève présentation

- Professeur en gestion de l'innovation au CNAM (LIRSA)
- Chercheur associé au Centre de Recherche en Gestion (i3 – UMR9217) de l'Ecole Polytechnique / Professeur associé aux Mines de Paris
- Thème de recherche : management de projet et innovation
=> www.sylvainlenfle.fr
- Une recherche-intervention avec le CNES depuis 2010, centrée sur l'usage des données spatiales en observation de la terre

La Météorologie - n° 110 - février 2018 37 **Histoire**

De l'interpolation optimale au 4D-Var : l'émergence d'un nouveau dominant design en assimilation de données météorologiques

Sylvain Lenfle
Laboratoire interdisciplinaire de recherches en sciences de l'action, Conservatoire national des arts et métiers, Paris
Centre de recherche en gestion, Institut interdisciplinaire de l'innovation, École Polytechnique, Palaiseau
sylvain.lenfle@cnam.net

Résumé

Au cours des années 1990, les méthodes d'assimilation de données utilisées en prévision numérique du temps ont connu un changement radical. Les méthodes dites d'interpolation optimale, qui s'étaient imposées dans les années 1980, ont laissé place aux méthodes dites variationnelles, qui ont notamment permis de mieux exploiter les données satellitaires. Cet article analyse les origines et le déroulement de ce basculement à partir d'un travail d'histoire des sciences centré sur la question de l'assimilation des luminances mesurées par les sondes atmosphériques. Il montre comment les limitations observées de l'interpolation optimale aboutissent au milieu des années 1980 à une rupture conceptuelle, l'assimilation variationnelle, puis au lancement du projet IFS/Arpege qui va permettre la mise en œuvre opérationnelle de la méthode au Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT) et à Météo-France dans la seconde moitié des années 1990. Ceci aboutira, après 10 années de travail acharné, à une amélioration significative de la qualité des prévisions.

L'objectif de cet article est d'analyser le changement majeur intervenu pendant les années 1990 dans les méthodes d'assimilation de données en prévision numérique du temps (PNT). Le but de ces algorithmes mathématiques est de générer les conditions initiales utilisées dans les modèles qui soient les meilleures possibles afin d'améliorer la qualité de la prévision. En effet, en une décennie, les principaux centres mondiaux de PNT ont basculé des méthodes dites d'interpolation optimale aux méthodes d'assimilation dites variationnelles (3D ou 4D-Var). Cette histoire a déjà fait l'objet de différentes publications dans *La Météorologie* (en particulier Pailleux, 1996 ; Rabier *et al.*, 2000b ; Pailleux *et al.*, 2015 ; Mahfouf *et al.*, 2017) qui ont permis d'éclairer et de documenter différents aspects de ce processus. Notre approche est quelque peu différente. D'abord, n'étant pas météorologue de formation mais enseignant-chercheur en management de l'innovation, nous abordons le sujet avec les concepts de notre discipline, qui, nous le pensons, permettent d'éclairer d'un jour neuf cette transition technologique, en particulier celui de *dominant design*, qui permet de comprendre la complexité du processus. Ensuite, ce travail s'inscrit dans une recherche en cours avec le Centre national d'études spatiales (Cnes) sur les processus d'innovation dans le domaine de l'observation de la Terre. La question de l'assimilation des luminances énergétiques¹ mesurées par les sondes atmosphériques embarquées sur les satellites météorologiques nous servira donc de fil conducteur. Le cas nous a semblé particulièrement intéressant, car il s'étend 20 ans entre le lancement du premier sondeur atmosphérique opérationnel (HIRS-2 en 1978) et la démonstration d'un impact positif de ces données pour l'amélioration des prévisions sur l'hémisphère Nord (Andersson *et al.*, 1994 ; Derber et Wu, 1998)². Analyser les causes de cette durée nous a conduits à entreprendre un travail d'histoire des sciences fondé à la fois sur la littérature (en histoire des sciences et en météorologie) et sur des

1. La luminance énergétique est une grandeur radiométrique qui mesure le flux d'énergie dans une certaine direction et dans une certaine gamme de longueurs d'onde du spectre électromagnétique. Elle est utilisée pour mesurer des paramètres atmosphériques indispensables à la PNT, en particulier la température et l'humidité de l'atmosphère.
2. On peut allonger ce délai à 30 ans si l'on considère qu'une dizaine d'années ont été nécessaires pour la phase exploratoire. Le premier sondeur expérimental SIRS-A a en effet été lancé en 1969. HIRS-2 derive quant à son sondeur expérimental HIRS-1, lancé en 1975. Une dizaine d'années ont été nécessaires pour disposer des données fiables selon les critères météorologiques (1978 selon Coarier, 1997).

Le problème de l'utilisation des données spatiales

(NRC, *Accelerating the transition from R to Operations*, 2003)

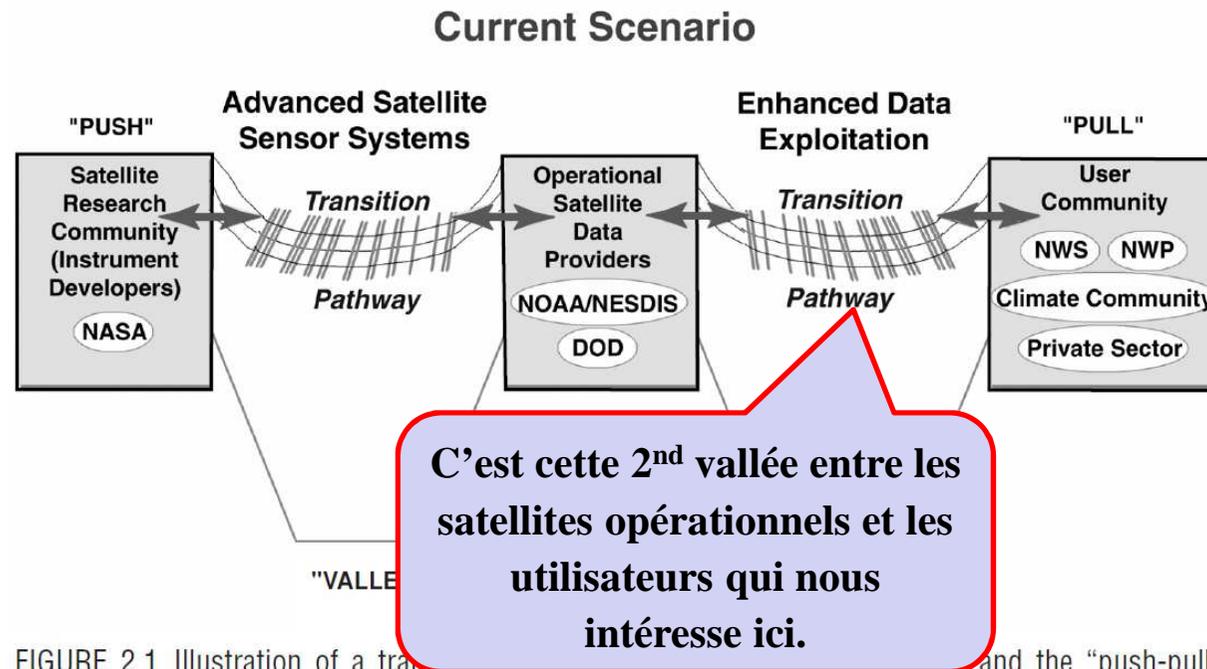
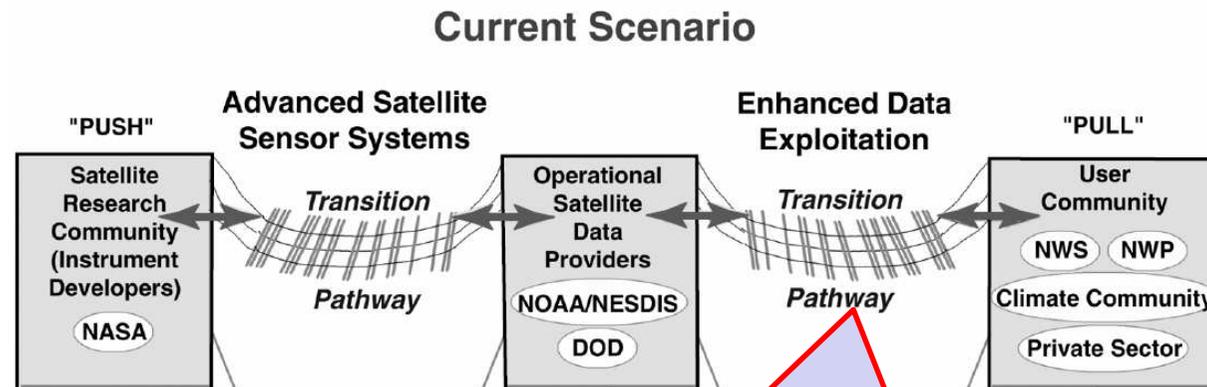


FIGURE 2.1 Illustration of a transition and the "push-pull" dynamic. Currently the valleys of death and lost opportunities are spanned by relatively ineffective bridges. The goal is to strengthen these bridges and their supporting infrastructure, making the transition pathways quicker and more efficient.

Attention 1) on peut très bien avoir des modèles qui produisent des données et personne ne s'en sert (GMES) donc le 2nd bloc doit être différencié ; 2) la NOAA est des deux cotés (NOAA/NESDIS et NOAA/NCEP). En météo c'est l'intégration dans le modèle qui pose problème.

Le problème de l'utilisation des données spatiales

(NRC, *Accelerating the transition from R to Operations*, 2003)



C'est cette 2nd vallée entre les

Dans les cas qui fonctionnent on trouve toujours un engagement de moyens importants (financiers, humains, etc), et ce depuis les images satellites dans les années 60.

Ex1 : IFS-ARPEGE = 10ETP / an pendant 10 ans.

Ex2 : NRC (2000) : "10 percent of the cost of a new sensor should be budgeted FOR RESEARCH AND TRANSITION OF THE DATA INTO OPERATIONAL FORECASTS."

sert
S et

VALLÉE DE LA MORT ?

Agence de bassin

Usagers finaux / « Milieux en interaction »
(FC)

Etc.

Modélisation « orientée application »

« Services »

Viticulteurs

Modélisation de l'environnement

Physique de la mesure

OSSE

Instrument
CNES +...

EDF

SWOT - ST

???

ECMWF

DRIAS ??

Mercator

Copernicus

...

Carrefour

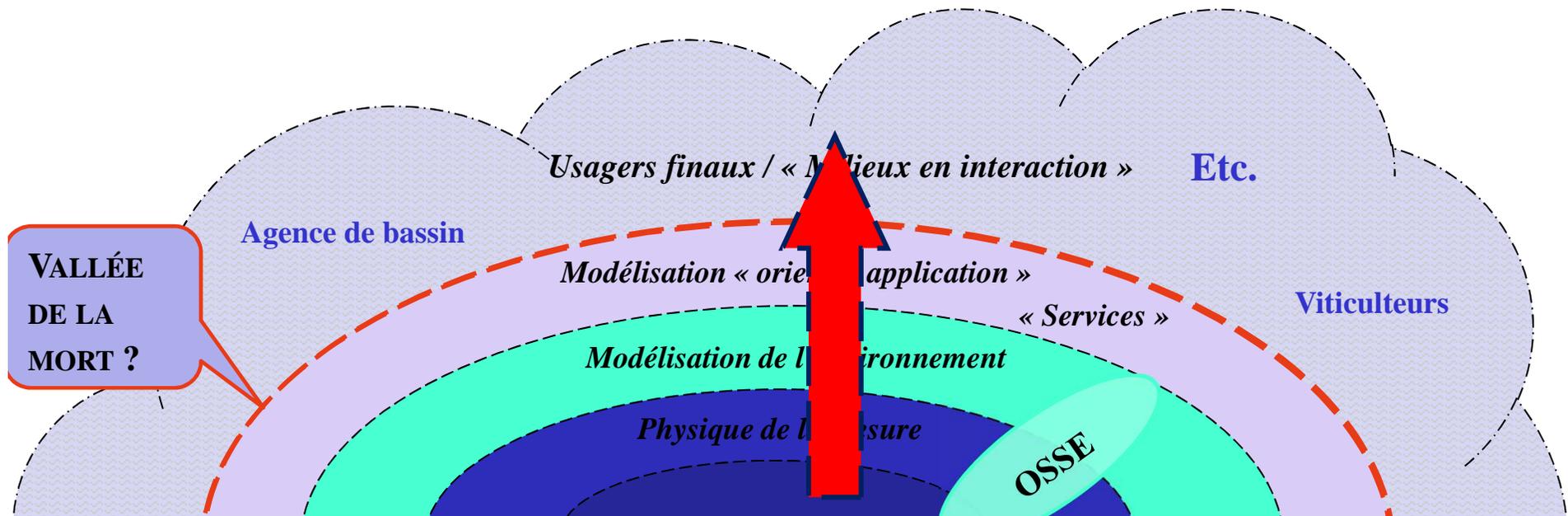
CLS ?

Climpact-MetNext

Ouranos

Total

Villes, Région...



Plus on s'approche du 5^{ème} cercle plus le problème se complique

- ✓ Loin du métier du CNES
- ✓ Indifférents et souvent ignorants / spatial
- ✓ Multiplications des acteurs, des besoins (non-convergents) et des strates administratives
- ✓ Difficultés à appréhender les pratiques dans leur complexité, les usages en situation.
- ✓ « Héritage (*legacy*) » souvent très important

⇒ Comment accéder au et travailler avec le dernier cercle ?

La longue route de la donnée spatiale aux utilisateurs : le cas de la PNT

Autres données

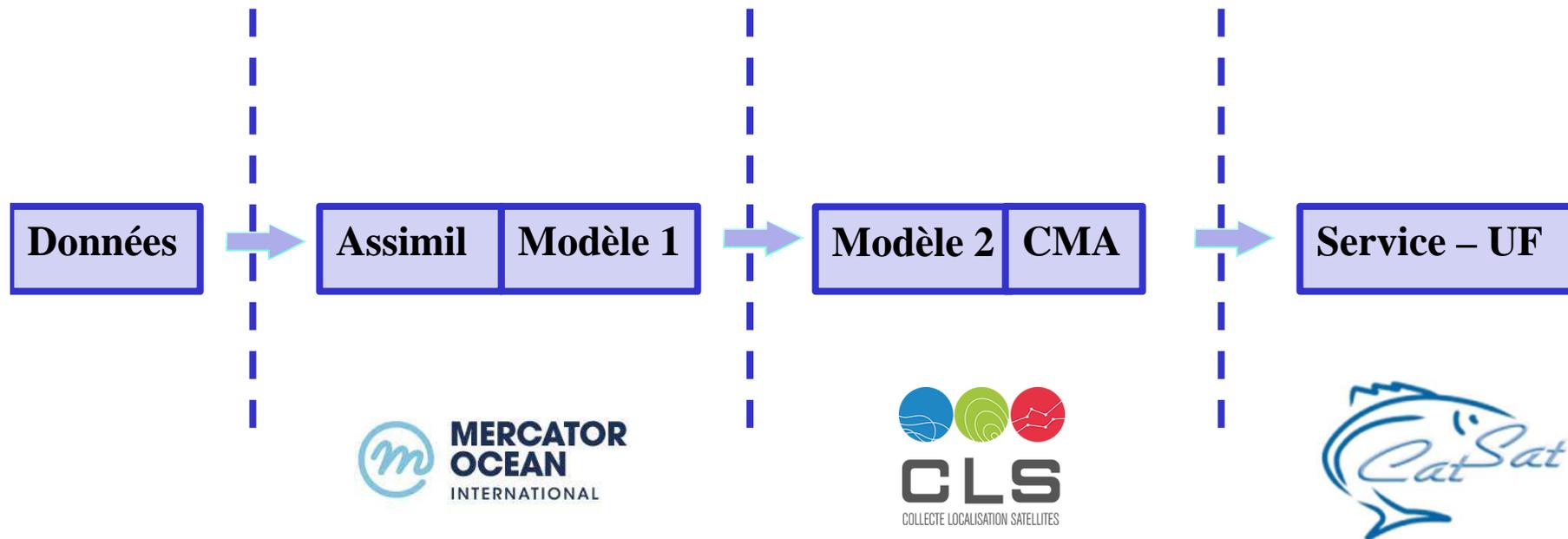


Global numerical weather forecasts



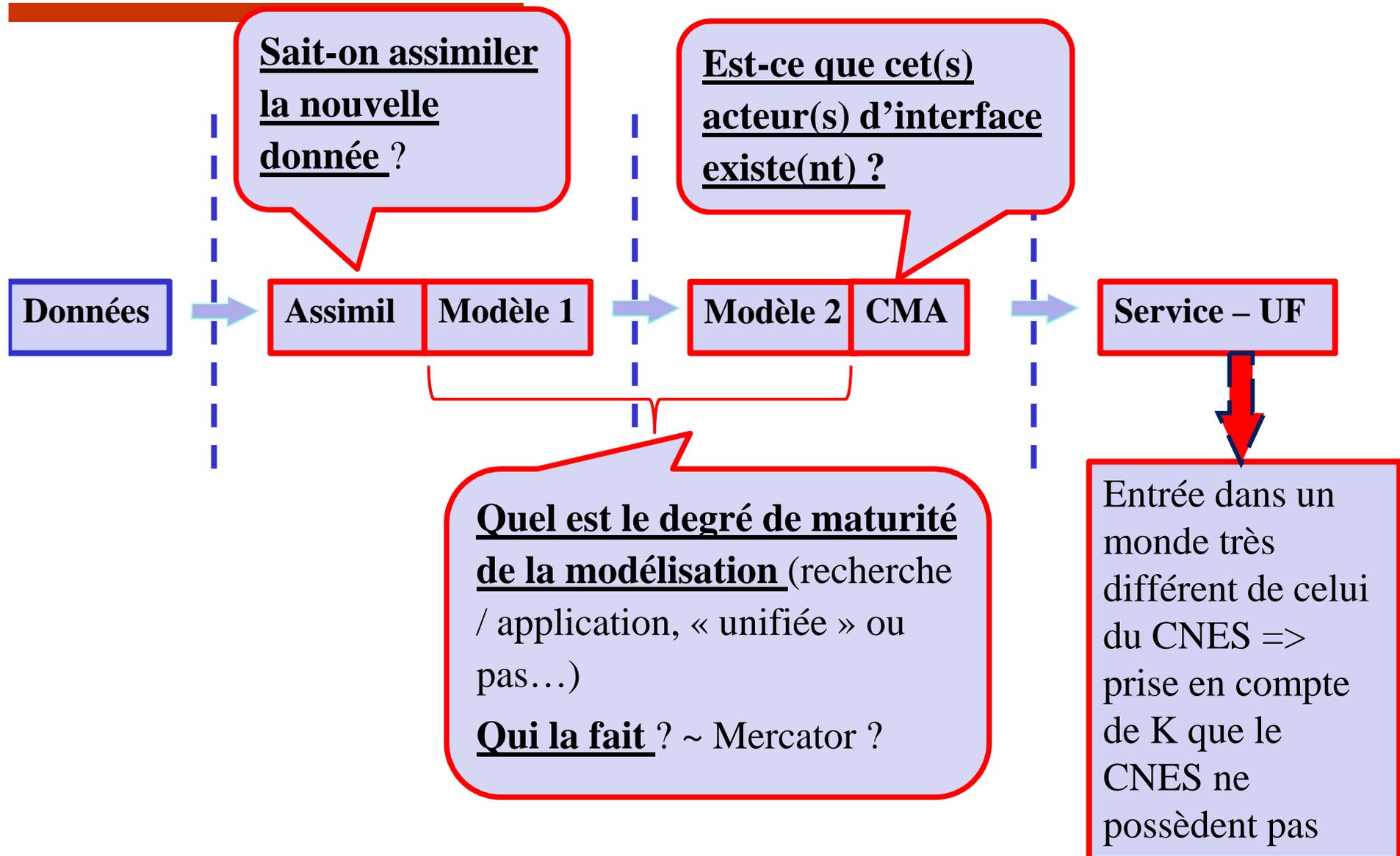
Dans le cas de la météo
•• l'écosystème préexiste à l'arrivée des sats (WWW ~ 60's). Problème = s'insérer dans un ES existant

La chaîne / l'écosystème à construire



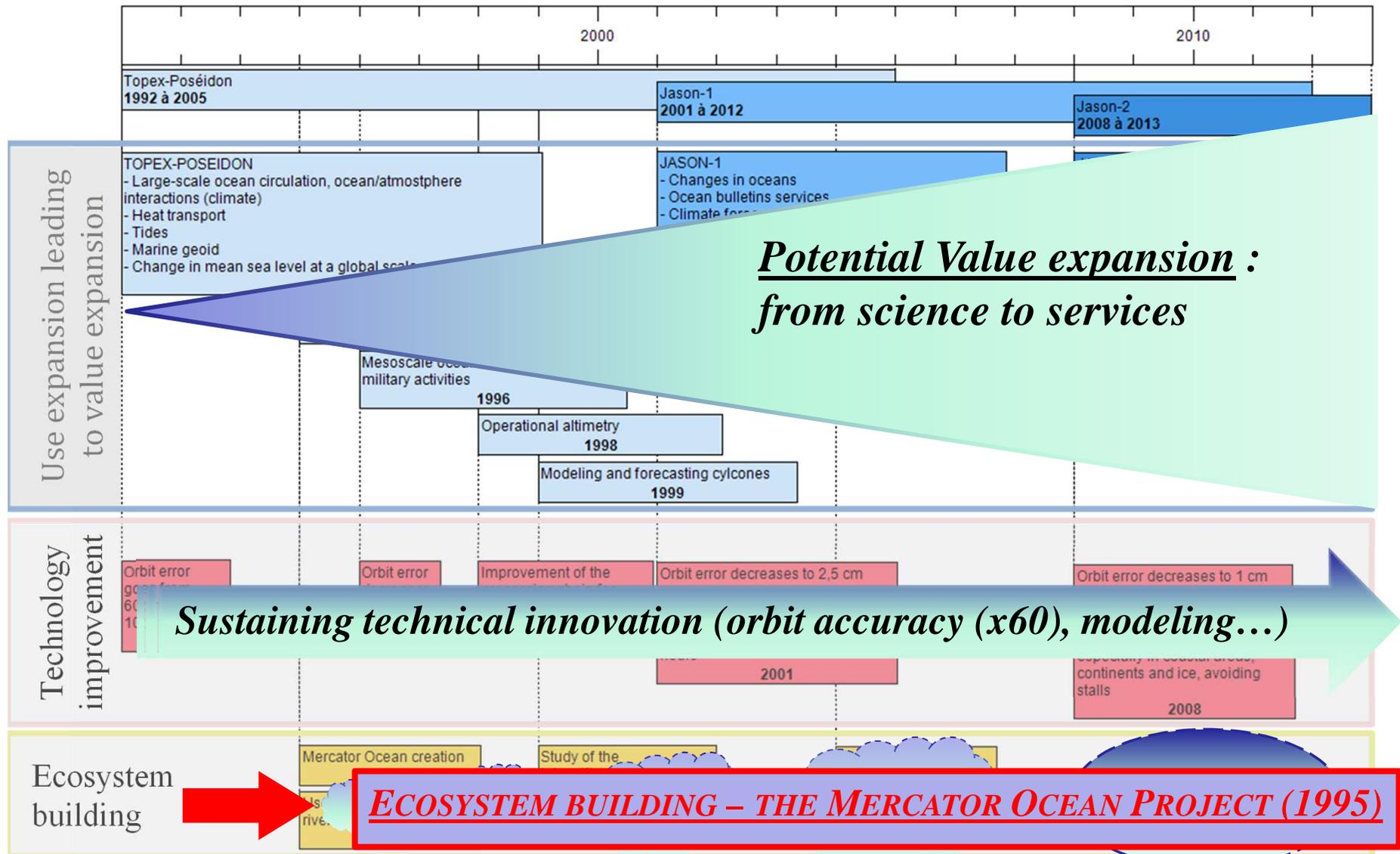
**Le cas Topex / Mercator est systématiquement cité
comme référence par les personnes rencontrées**

La chaîne / l'écosystème à construire



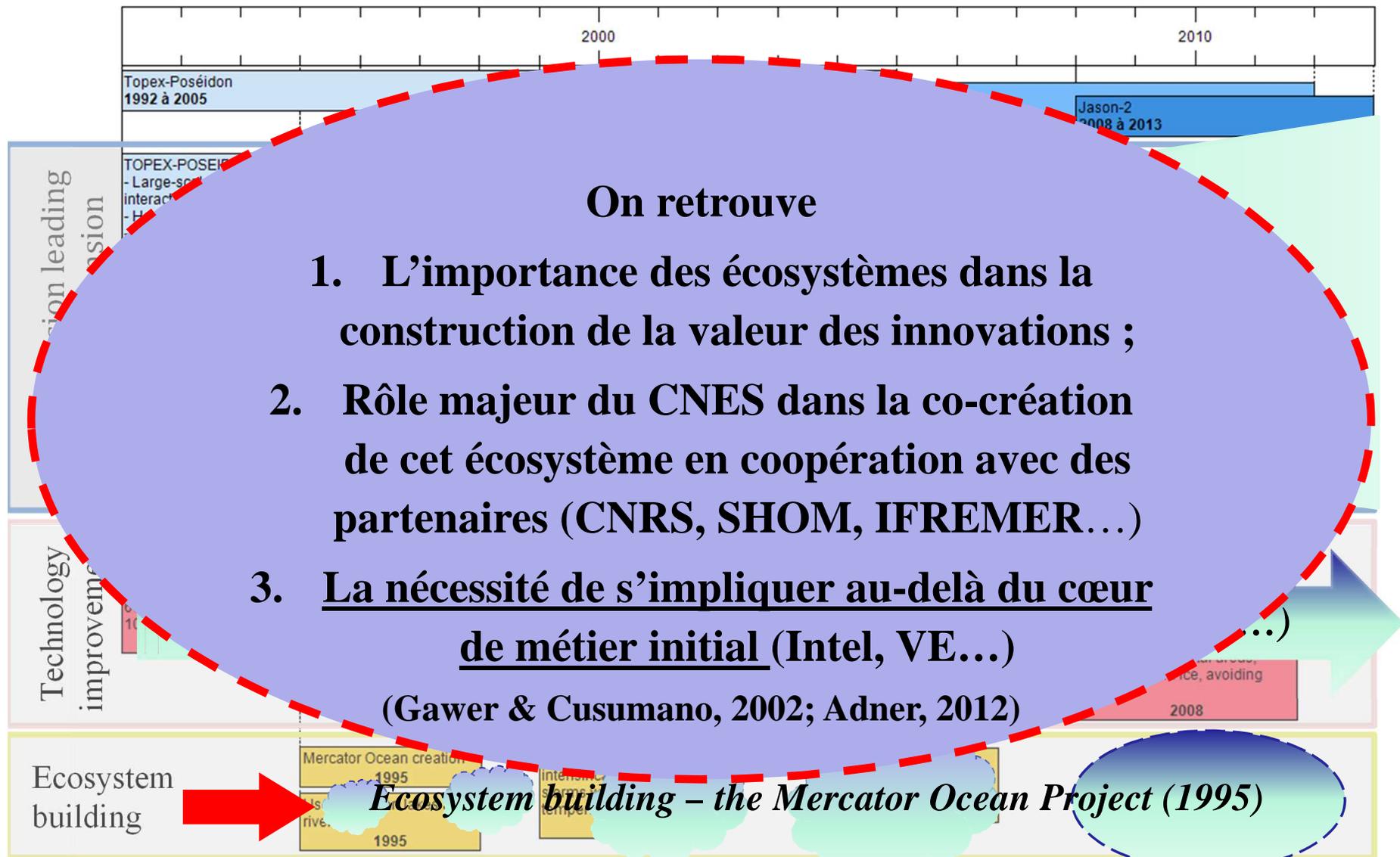
Value expansion in oceanography : a 3D process

(Le Pellec-Dairon, 2013 ; Maniak & al, 2014)



Value expansion in oceanography : a 3D process

(Le Pellec-Dairon, 2013 ; Maniak & al, 2014)



Entrer dans le 5^{ème} cercle

Aller jusqu'au démonstrateur d'usage suppose d'intégrer

1. Les pratiques instituées

- ✓ Outils utilisés typiquement quelles données / quels modèles / pour faire quoi ?
C'est quoi le *dominant design* (ex météo = in-situ + OI)
- ✓ Effort de formation très important et si mal ciblé => flop
- ✓ Personnalité des contacts, on peut tomber sur des murs

2. Règlementation / Procédures administratives

3. Modèle économique / coût du passage à l'opérationnel

4. Temporalité des acteurs : le spatial est toujours un changement d'interlocuteur peut remettre en ca

Peut torpiller même le meilleur produit du monde (cf. routage des navires marchands / CLS)

Les Utilisateurs Institutionnels Autorisés (UIA) et le spatial

- **MON hypothèse** : les utilisateurs du dernier cercle (UIA & co.) n'ont généralement ni le temps, ni les ressources, ni les compétences pour exploiter seuls les images spatiales => il faut penser l'usage à partir d'un binôme [« *consultant-modélisateur application* » (CMA) / **utilisateur final**]

« *Même ouvrir l'image c'est compliqué* »,

« *Vu des UIA [les images spatiales] c'est de la science-fiction* »

- Il est illusoire de croire qu'une collectivité « normale » va ou simplement peut utiliser des données spatiales, **il lui faut une information (image ou autre) DÉJÀ INTERPRÉTÉE.**

Concept technique en rupture, Swot cumule les difficultés à tous les niveaux

- Donnée très complexe scientifiquement ET stratégique pour les Etats
- Hétérogénéité des applis en raison notamment de la nature très locale des phénomènes étudiés
- Ecosystème à découvrir et à structurer / pas d'acteur « clé de voute » type Mercator / mille-feuille institutionnel / nouveau pour le CNES
- Communauté scientifique ancienne, dispersée et dominée par les mesures in-situ depuis toujours => profusion d'info et de modèles existants (différence forte / océano).

SWOT Aval

Le programme préparatoire SWOT Aval



Le pourquoi, la stratégie pour y parvenir

ACCOMPAGNER LES EXPERTS ET LES LABORATOIRES SC.

1



INFORMER - SENSIBILISER

- Analyse de marchés cibles
- Information et communication ciblée

- Soutien à la recherche dans le domaine hydrologique et océanographique

2



JEUX DE DONNÉES SIMULÉES SWOT

- Développement de simulateurs pour fournir des données représentatives
- Des campagnes aéroportées : AirSWOT

3



SYSTÈME NATIONAL DE PRODUITS HYDRO ET OCÉAN

- HYDROWEB-NG : portail d'accès centralisé aux produits hydrologiques

4



5



SUSCITER LE DÉVELOPPEMENT D'APPLICATIONS

- Mise en place de groupes de travail par domaine cible réunissant les acteurs pour la définition et la mise au point de services

SWOT Aval : les différents dispositifs

- **SWOT Aval « *Stricto sensu* » (CNES, 2014 – present)** : programme du CNES pour préparer l'arrivée du satellite et stimuler les usages de la donnée.
- **Groupe hydrologie spatiale – 2014.**
 - Essentiellement sur le pilote du bassin du Congo (12 réunions sur 15, fin 03/19)
 - 15 réunions entre 2014 et 2019
 - Participants : CNES, CLS, CNR (Nav et électricité), BRLI (SI intégré CICOS), AFD (ϕ), IRD (R), IRSTEA (R), OIEau (Coordination, « neutre »)
- **SAWG (CNES – NASA, 2014 – present)**
 - SWOT Application plan V 1.0 – **Septembre 2014**
 - 1^{er} application user workshop : **12 janvier 2015**, La Jolia, Californie
 - 2nd application user workshop : **6-7 avril 2017**, USGS, Reston, Virginia
 - SWOT Early Adopter Guide : mars 2018 (« *non-funded activity* »)
 - 3^{ème} application user workshop / **1^{er} training workshop, dédié hydro : 26-27 mai 2018**, Northeastern University, Boston, MA
 - SWOT Early adopter training workshop : **20-21 mai 2019**, CNES, Paris
- **[+ les financements TOSCA].**

Pilotes en cours

- **Barrages** (DREAL Occitanie, METS)
- **Qualité de l'eau** (OFB) : travail important sur la donnée
- **Suivi du lac Tchad** (AFD, UNESCO)
- **Brésil** : suivi rupture de barrage (UNESCO). Attente financement. Processus très politique.
- **Guyane** : suivi bio-plateau
- **Congo** : Changement des interlocuteurs, attente assistance MOE
- **Tchad** : dépend d'un contexte politique local compliqué. Recherche financement avec WMO
- **Niger** : pb de gouvernance, agence en restructuration permanente.
- **Sénégal** : en stand-by. Réveil le 8/12/2020 pour un début en 2021
- **GT hydrologie** en stand-by
- **SAWG** perturbé par le COVID et les différences d'approche de SWOT

Explorer le 5^{ème} cercle

- **Suppose des moyens importants : infra SI, accès aux données, modèles, SIG, logiciels compatibles, personnes compétentes, etc (Ex : Orféo / Bb Urbain Nord de Toulouse)**
- **Intégration multi-niveaux :** Importance du travail avec les différents niveaux de la chaîne en même temps.
 - *“On n’a pas bossé avec l’ONIC. On les a rencontré mais ils n’étaient pas impliqués. Y’a eu un retour mais c’est tout. Le CNES devaient avoir des relations avec eux”* (Artelia).
- **Capacité à qualifier les interlocuteurs** (ex : IGN vs. IGN Espace, risque de « l’expert spatial » placardisé, etc.). Trouver des « Lead-users » ayant une capacité d’entraînement, éviter les « murs »...
- **Continuité de l’engagement permettant un co-apprentissage**

Explorer le 5^{ème} cercle

- **Suppose des moyens importants : infra SI, accès aux données, modèles, SIG, logiciels compatibles, personnes compétentes, etc (Ex : Orféo / BIUN de Toulou**
 - **Intégra**
de la ch
– “On
Y’a
(Art
 - **Capaci**
« l’exp
capacit
 - **Contini**
- Le marketing B2B et la co-conception sont des activités excessivement complexes car cela suppose d’entraîner et de travailler avec une organisation.
 - Ceci suppose d’avoir plusieurs portes d’entrées, plusieurs interlocuteurs pour bien comprendre LES besoins et se prémunir contre une défaillance de l’un d’eux.
 - Le fait de faire une ou deux réunions avec des « chefs » ne signifie aucunement que « le ministère » va suivre (a fortiori avec des « pas chefs »...). Idem régions, villes, etc.
 - Ex : Arcelor / hydroformage, PSA/ SUAL-DC

Le piège de la « non-représentativité » des scientifiques

- Interlocuteurs naturels et historiques du CNES = les labos de recherche
- Piège car ils sont **totallement « non-représentatifs » des UIA**
 - Ils savent ce qu'ils cherchent
 - Ils sont très compétents sur l'usage de la donnée et disposent des moyens pour l'exploiter (algos, serveurs, calculateurs, etc.)
 - Ils ont peu d'incitatif à aller vers le 5^{ème} cercle => **ÉVALUATION = PUBLICATIONS** + diffusion données à d'autres labos
 - Ils ne paient pas (pg ISIS du CNES) et militent pour le « open & free »
- **E. Berthier (Suivi des glaciers / LEGOS)** : inséré dans l'écosystème toulousain (CNES, SPOT, IGN Espace...) / déjà utilisateur de SPOT 5 dans le cadre du programme SPIRIT / préfère travailler à partir des images brutes avec ses algos / utilise pleiades pour préciser ses MNT pour estimer l'évolution des glaciers (+ estimation de l'enneigement) / 0 relation avec des UIA (et c'est normal !)
 - Note : on retrouve le triptyque spatial (multi-sat) / in situ / modèles

Vers un « mercator hydro »

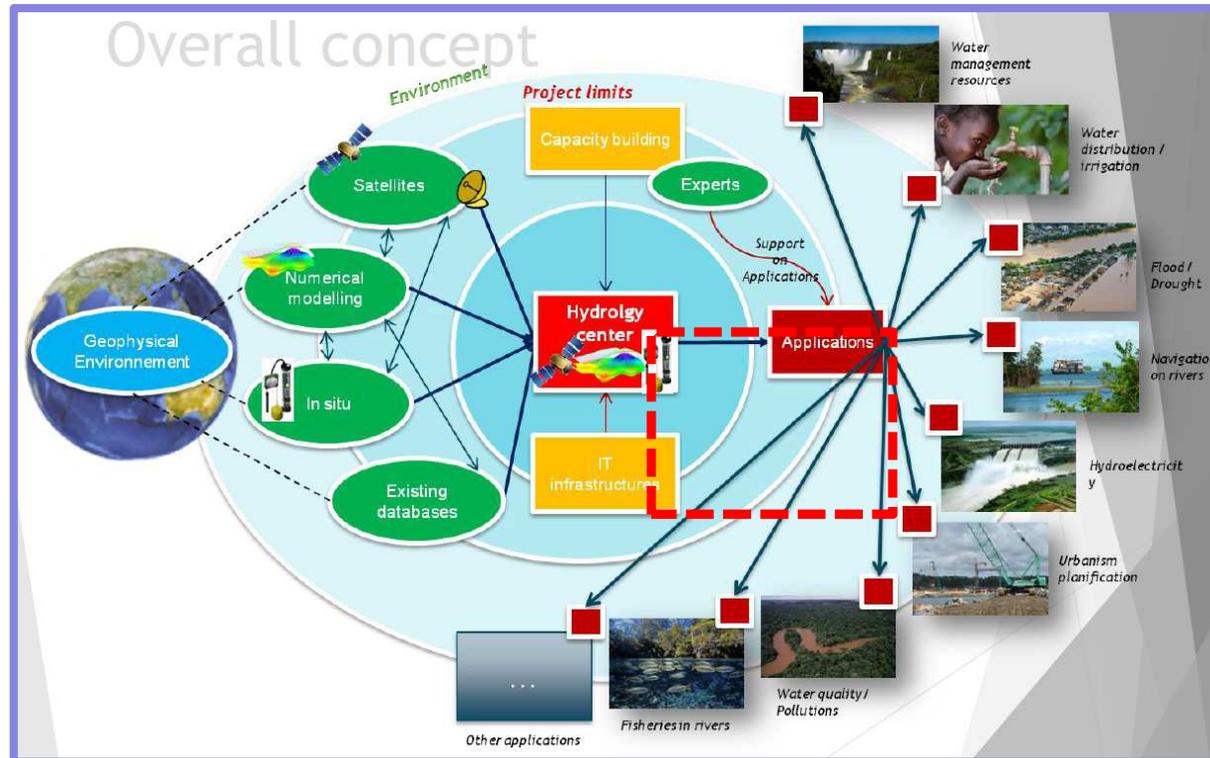
- Modèle de référence cité par tout le monde = Mercator Océan (depuis au moins 2012)
- Accord général sur le fait
 - que grâce à SWOT la communauté émerge au niveau scientifique
 - qu'il y a un chaînon manquant « à l'interface » science / applications.



A mon avis la communauté scientifique ne peut pas remplir ce vide : « *On est confrontés à cette demande du CNES de voir ce qui peut être fait pour l'applicatif. On essaie de les orienter mais on a pas vocation à faire et on a une K limitée de l'applicatif.* » (cf. le « piège des labos »)

SWOT Application Workshop, April 2017.

Présentation F. Lefevre – CLS



~ Modèle Mercator / CLS appliqué à l'hydro

« Quand j'ai présenté ça ils m'ont regardé avec des yeux ronds. C'était un peu du marketing, ça faisait tâche dans les présentations scientifiques »

SWOT Application Workshop, April 2017.

Présentation F. Lefevre – CLS



« A l'échelle ambitieuse d'un SWOT ça n'existe pas (...) C'est un problème de moyens. On en parle avec Nicolas. Le CNES a conceptualisé la nécessité de le mettre en place mais qui ? **Ca demande tellement de moyens financiers que...** Faut-il recréer un GIE ? Réussir à convaincre d'autres institutionnels ? L'Europe pour financer un Copernicus ? Y'a beaucoup de politique là derrière (...) **Pour mémoire Mercator Copernicus Marine aujourd'hui c'est 20-25 millions / an (60 personnes + machines +...)** en appui sur l'écosystème toulousain » (CLS=
=> CO-FINANCEMENT (CNES / ...)

Comment résoudre la tension entre

1. l'hétérogénéité des données en amont (dont SWOT)
2. la nécessité de concevoir des produits « génériques »
3. et la diversité des applications ?



Contact :

sylvain.lenfle@lecnam.net

<http://www.sylvainlenfle.fr>