



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

Fabienne Trolard

Sols – eaux – ressources agricoles : l'apport des indicateurs

Fabienne Trolard est géophysicienne et géochimiste de l'IPG de Strasbourg, agrégée de l'Enseignement Supérieur en Géosciences (UCL, Belgique), directrice de recherches à INRAE et membre correspondant de l'AAF. Ces travaux portent sur les interactions solide-solution du cycle du fer dans les sols et sur l'intégration de connaissances scientifiques dans une démarche opérationnelle territoriale de gestion des ressources naturelles.



Résumé

Qu'ils s'agissent de l'eau, des sols, voire de la production agricole, ces ressources naturelles, peu ou pas délocalisables et indispensables à tous projets de développement, sont soumises à des pressions croissantes liées aux changements globaux. La recherche de la durabilité des systèmes, de la réduction des atteintes à la nature et les sécurités alimentaire et hydrique nécessite une évolution de la gestion des ressources d'un territoire d'une vision statique et sectorielle vers une vision dynamique et holistique. Les développements récents du numérique permettent



aujourd'hui de concevoir des outils opérationnels de diagnostic et d'aide à la gestion pour les acteurs dans les territoires, fondés sur l'usage d'indicateurs.

Mots-clés : indicateurs, eau, sols, gestion intégrée, ressources naturelles

## Communication

### Introduction

Après plus d'un demi-siècle de croissance démographique sans précédent, largement soutenue par les performances agro-industrielles de l'agriculture mondiale, la prise de conscience des limites physiques de notre planète peine à être prise en compte par le citoyen de base comme par les politiques. La puissance du numérique, de plus en plus présente dans nos sociétés, donne accès aujourd'hui à une production massive de données sur les territoires, la possibilité de les traiter et de construire des modèles prédictifs de leur évolution. Ceci nous ouvre désormais de nouveaux champs de possibles comme :

- mieux analyser la trajectoire historique de l'utilisation des ressources naturelles d'un territoire sur une période donnée ;
- faire de la prospective et des analyses de scénarios à moyen terme.

Ceci permet également d'accompagner le changement de paradigme nécessaire pour la construction d'une vision dynamique et holistique du territoire fondée sur le renouvellement de l'usage d'indicateurs et de modèles numériques.

### Indicateurs et modèles

Par définition, un indicateur est une grandeur spécifique observable et mesurable qui peut servir à montrer les changements obtenus ou les progrès accomplis par un programme en vue de la réalisation d'un effet spécifique.

Par exemple, dans la chaîne de production de tout produit, deux indicateurs principaux sont proposés pour l'évaluation de la consommation d'eau : (i) l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) de l'eau et (ii) l'empreinte de l'eau (WF).

WF est un indicateur volumétrique mesurant les impacts de toutes les activités humaines dans un espace délimité pendant une période définie et résulte de la combinaison des 3 sous-indicateurs, selon l'équation :  $WF = WF \text{ bleu} + WF \text{ vert} - WF \text{ gris}$ , où « WF vert » comptabilise les précipitations et l'évapotranspiration ; « WF bleu » prend en compte les eaux de surface et souterraines et (iii)

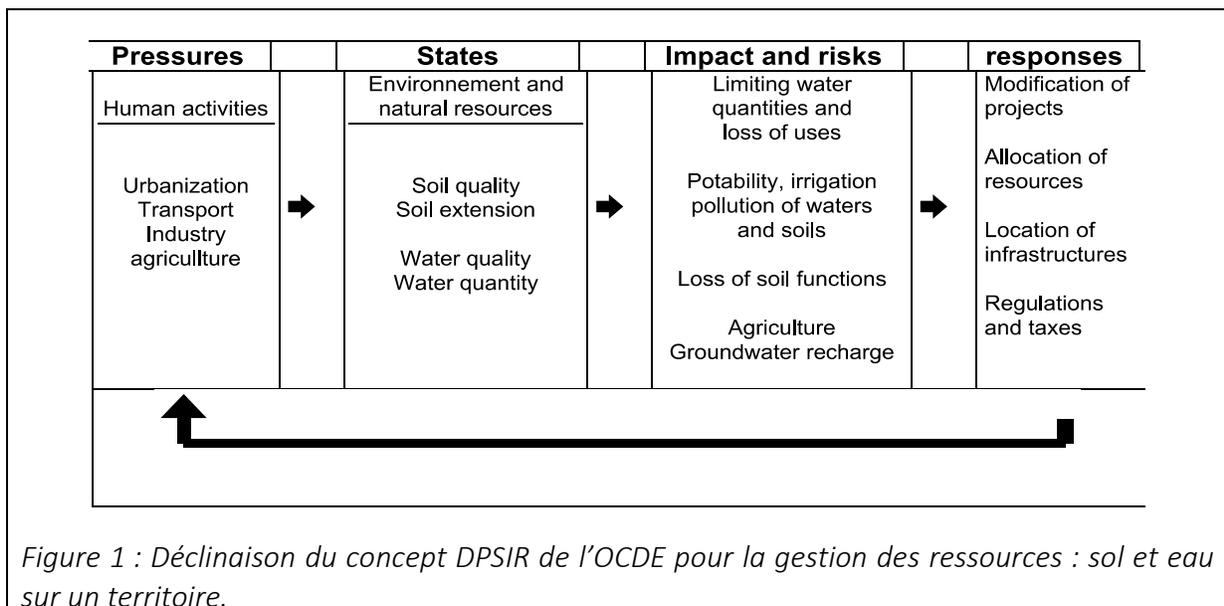
« WF gris » définit le volume d'eau nécessaire à la neutralisation des contaminations des eaux usées jusqu'à ce qu'elles aient retrouvé les critères de qualité des eaux bleues.

Pour la modélisation, il existe trois grandes familles de modèles : (i) les déterministes qui tentent de prendre en compte l'ensemble des processus physiques, chimiques ou biologiques décrivant la qualité de l'eau et son évolution dans le système étudié ; (ii) les stochastiques dont les principes reposent sur des analyses statistiques et/ou probabilistes d'événements se produisant dans l'espace et/ou le temps ; (iii) les modèles orientés objet, qui visent à modéliser directement des entités de systèmes réels, définies comme des objets composites avec un comportement et un état.

Il n'y a pas de conflits entre ces types de modèles. La difficulté réside cependant dans le choix du type de modèle qu'il faut faire en fonction des dimensions spatio-temporelles du territoire considéré et des bases de données disponibles.

Une démarche intégrative pour une analyse dynamique de l'évolution d'un territoire

Une démarche intégrative pour le diagnostic et la prévision PRECOS (Prediction of the Impacts of Urban Sprawl and Climate Change on Ecosystem Services) propose une chaîne de traitement de l'information fondée sur le principe DPSIR de l'OCDE (figure 1). PRECOS permet ainsi de simuler et visualiser dans l'espace et en fonction du temps les atteintes aux ressources naturelles, aux rendements agricoles, à l'accès à l'eau et à leurs effets cumulés liés aux projets d'aménagement territoriaux et de l'occupation des sols.





Concrètement grâce à PRECOS il est possible :

- d'établir un état des lieux d'un territoire sur de nombreux indicateurs (*e.g.* occupation des sols, qualification agronomique des sols, risques industriels, qualité chimique des eaux, ressources en eau, rendements agricoles, drainage...);
- de reconstituer la trajectoire de ces indicateurs sur les périodes passées ;
- de proposer des futurs possibles en fonction de scénarios socio-économiques en évaluant les impacts sur les actifs environnementaux de contraintes climatiques, agricoles, territoriales, socio-économiques et réglementaires ;
- d'utiliser et combiner des outils de représentations spatiale et temporelle (*e.g.* cartes, graphiques, tableaux...) pour visualiser les impacts, communiquer et animer la concertation...

PRECOS travaille à l'échelle de biens communs, tels qu'une nappe phréatique desservant une multitude d'acteurs, un bassin versant géré par une agence de l'eau ou une mosaïque paysagère en lien avec les filières agricoles qui l'entretiennent et l'exploitent.

## Résultats

Pour la démarche PRECOS (Trolard et al., 2013, 2016), le territoire de la Crau dans le Sud-Est de la France a été la première zone de démonstration et a conduit à la mise en place d'un contrat de nappe (2017-2023) porté par le Syndicat Mixte de la Crau (SYMCRAU). Des tests de faisabilité ont été menés en Italie (région d'Emilia-Romania) et en Espagne (région de Valencia) dans le cadre d'un programme européen.

Plus récemment et grâce à la modularité conceptuelle de PRECOS, la démarche a également été utilisée sur le bassin versant de la Medjerda (Tunisie, Algérie) où avec l'indicateur WF et un modèle orienté objet (WEAP) il a été possible d'identifier les sous-bassins où la tension sur les ressources en eau s'accroît rapidement et demanderont une gestion prioritaire d'ici 2030 (Kachroud, 2018).

## Conclusion

L'EAU et le SOL sont des ressources rares et non délocalisables : elles sont la source de services écosystémiques et le préalable indispensable à tous développements économiques locaux. Le rôle positif de l'AFOLU (Agriculture, Forêts & Autres Utilisations des Terres) sur l'adaptation et l'atténuation du changement climatique conduit le 5ème GIEC GT 2 & 3 à recommander d'agir sur une base territoriale.

Ainsi, l'urbanisation et l'aménagement du territoire d'aujourd'hui et de demain doivent impérativement être pris en compte dans la gestion du capital sol et des ressources en eau. La



gestion de l'eau ne peut pas être indépendante de la gestion et des usages des sols. Pour gérer les changements d'usage des sols, le principe de Lavoisier doit s'appliquer « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »...

Cependant les principaux freins aux déploiements de telles démarches sont : (i) l'acceptabilité par les parties prenantes du changement de paradigme (vision sectorielle statique vs. vision dynamique intégrée) avec ses conséquences sur le plan organisationnel des services publics en charge de la gestion territoriale ; (ii) la nécessité d'un gain en compétences sur les nouveaux outils numériques proposés nécessitant un investissement en formation des personnels concernés.



## Références

Kachroud M. (2018) Contribution aux outils d'aide à la décision pour la gestion des eaux : Application au bassin versant de la Medjerda (Tunisie). Thèse de Doctorat en co-tutelle avec l'université d'Avignon (France) et l'Université de Carthage (Tunisie).

Trolard F., Reynders S., Dangeard M.L., Bourrié G., Descamps B., Keller C., de Mordant de Massiac J.C. (2013) Territoires, villes et campagnes face à l'étalement urbain et au changement climatique – Une démarche intégrative pour préserver les sols, l'eau et la production agricole, Edition Johanet, Paris, ISBN 979-10-91089-09-8, 152 pp.

Trolard F. Bourrié G., Baillieux A., Buis S., Chanzy A., Clastre P., Closet J.F., Courault D., Dangeard M.L., Di Virgilio N., Dussouliez P., Fleury J., Gasc J., Géniaux G., Keller C., Lecharpentier P., Lecroart J., Napoleone C., Mohammed G., Oliosio A., Reynders S., Rossi F., Tennant M., Vicente Lopez J. 2016. — PRECOS framework: measure the impacts of global changes on soils, water, agriculture on territories to better anticipate the future. *Journal of Environmental Management*, 181, 590-601, doi: 10.1016/j.jenvman.2016.07.002.



# SOIL - WATER - AGRICULTURAL RESOURCES: THE CONTRIBUTION OF INDICATORS

FABIENNE TROLARD

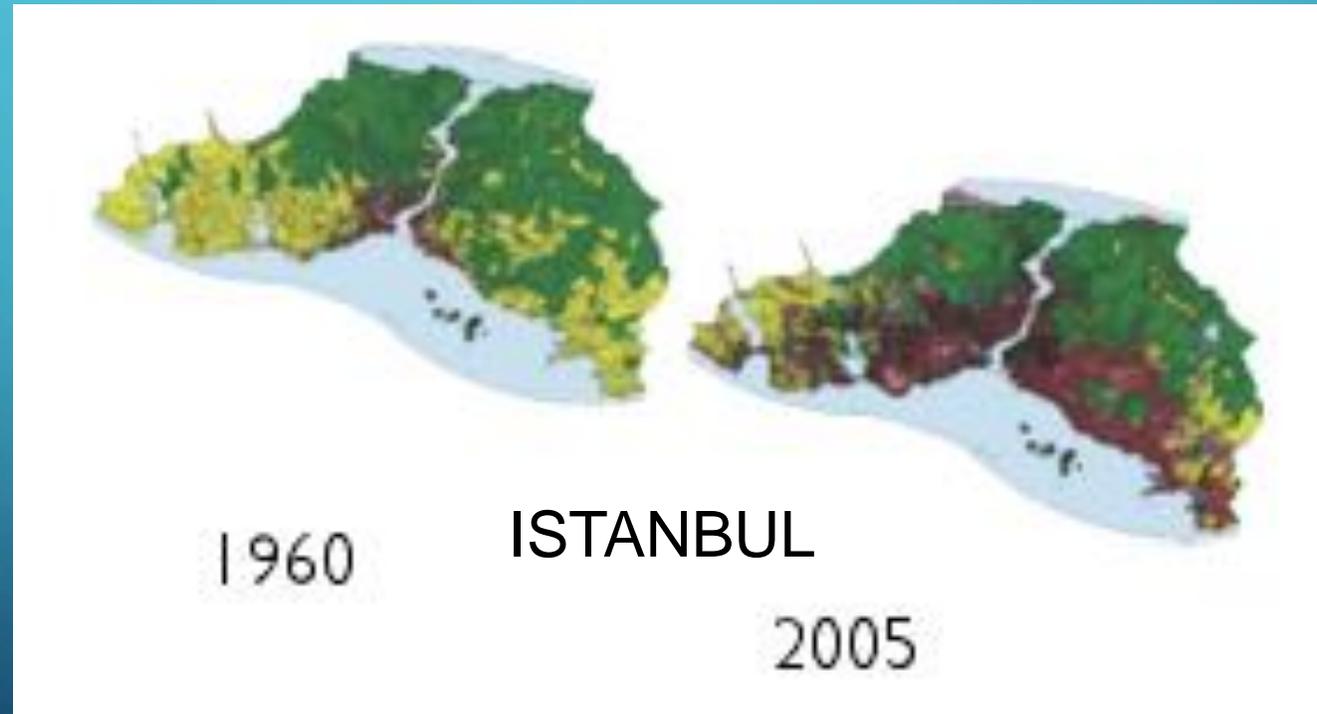
INRAE RESEARCH DIRECTOR

ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE –SECTION V

Two driving forces impact the sustainability of territories:

- **Urban sprawl**

Urban growth is a factor of productivity but urban sprawl is a major threat for soil and water resources.



Two driving forces impact the sustainability of the territories:

- Urban sprawl
- **Climate change**

The environmental services are generated by natural and cropped areas.

The performance of these services is defined by pedo-climatic conditions and thus climate changes can modify positively or negatively these ecosystem services.



# A new paradigm

Territories have limited land  
and natural resources

Sector based  
approaches

Static points of  
view

≠

Integrated  
approach

Dynamic vision

# SOIL and WATER are the ground bases of local development

## BUT THESE RESOURCES ARE FINITE



This calls for maximising their future use.

Local authorities need help to :

- have a global and integrated image of their territory,
- test scenarios integrating various pressures such as legal constraints, socio-economic dynamics and climate changes,
- visualise the probable evolution of resources and more specifically that of water and soil.

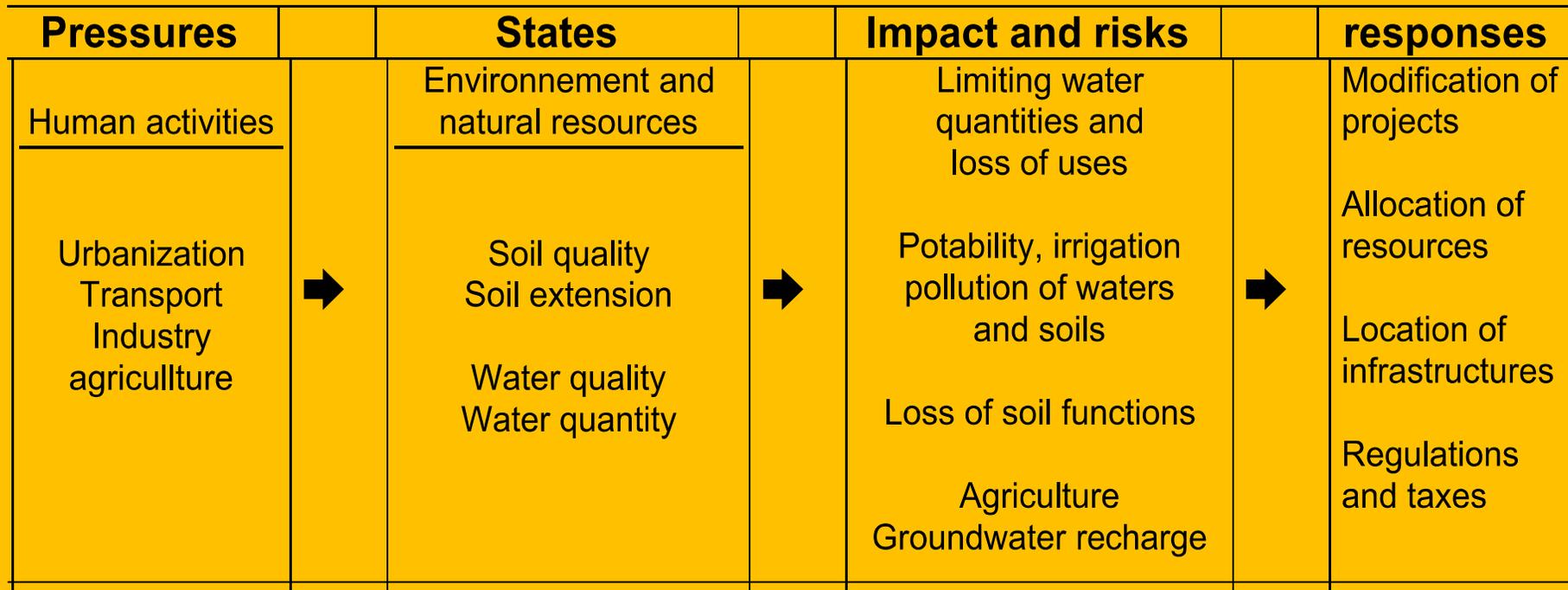


The power of digital technology, which is increasingly present in our societies, now opens up new fields of possibilities for us:

- better analyse the historical trajectory of the use of a territory's natural resources over a given period;
- do foresight and medium-term scenario analysis.

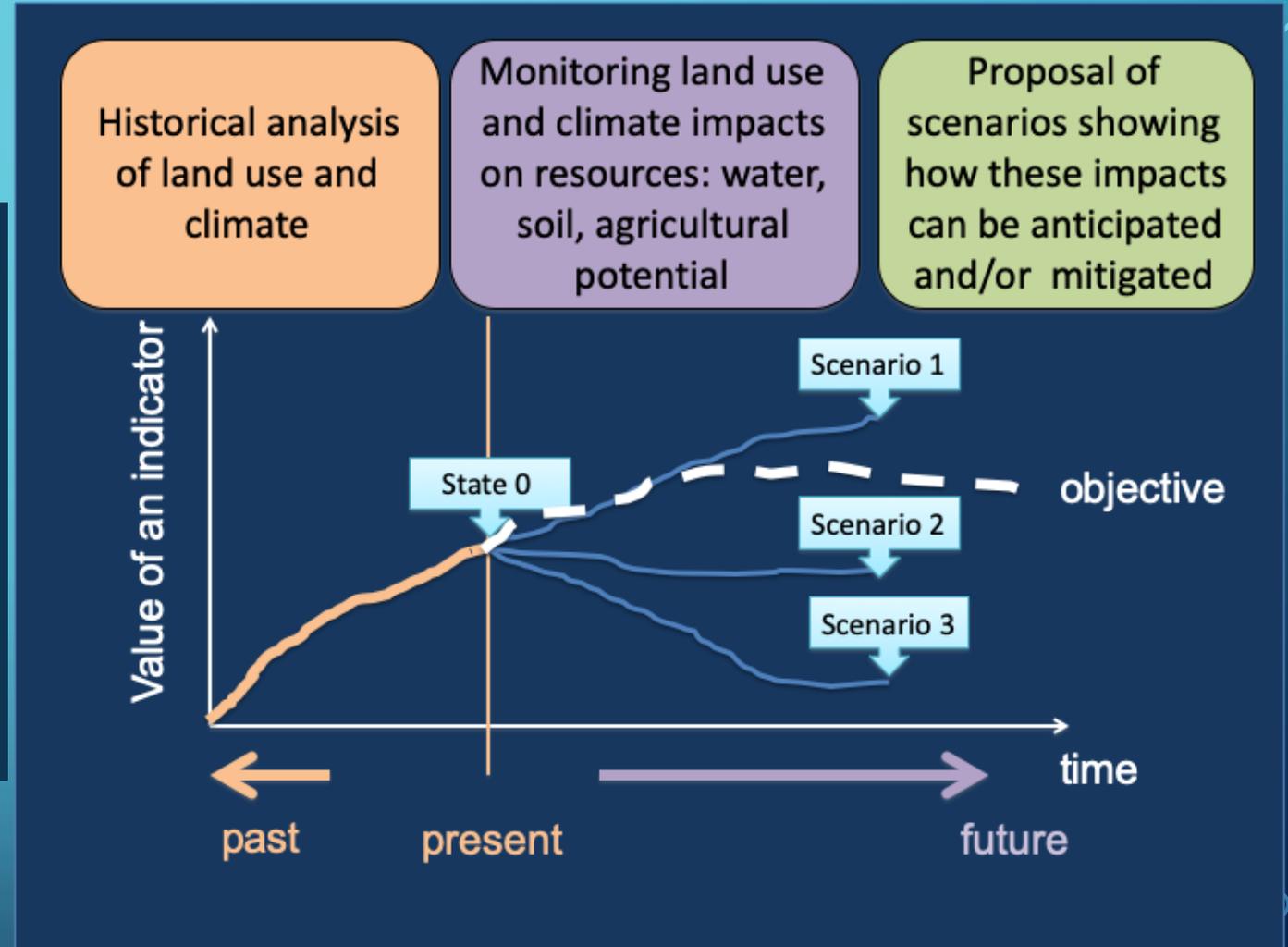
- **Paradigm shift**
- **Renewed use of indicators and digital models**

# Variation of the DPSIR concept from OECD for the management of natural resources



# INDICATOR

By definition, an indicator is a **specific observable and measurable quantity** that can be used to show the changes achieved or the progress made by a program towards achieving a specific effect.



# WATER

Two main indicators are proposed in order to assess the water consumption in production chain of any products :

- The Life Cycle Analysis (LCA) of water;
- The Water Footprint (WF).

Introduced by Hoekstra et al. (2002, 2011), **WF** is a volumetric indicator measuring the impacts of all human activities in a delimited space during a defined period and results of the combination of the 3 following sub-indicators :



**WF green**, concerning the rainfalls and the evapotranspiration;

**WF blue**, representing the surface waters and groundwaters ;

**WF grey**, defining the required volume of water to neutralize the contaminations of wastewaters until they become blue waters again.

$$\text{WF} = \text{WF blue} + \text{WF green} - \text{WF grey}$$

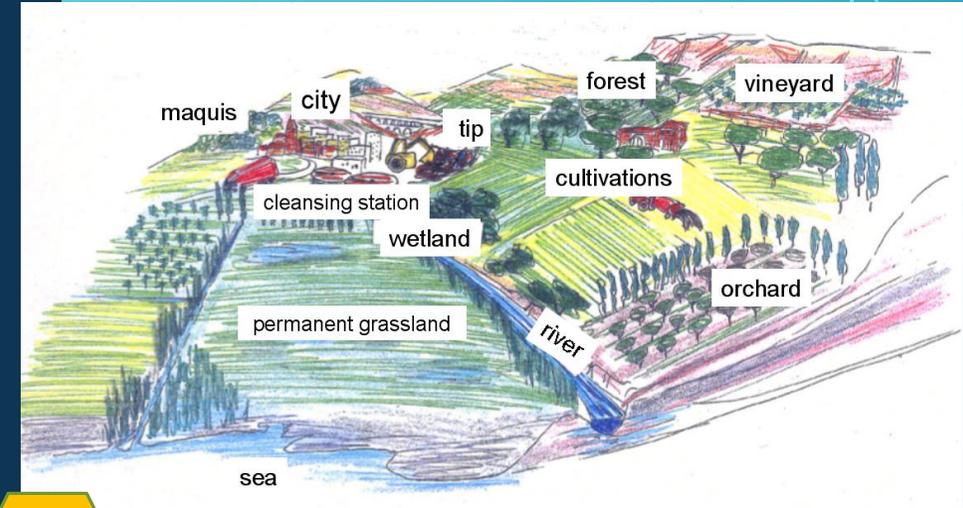
# TYPES OF MODELING

- **Determinists** that attempt to take into account all the physical, chemical or biological processes describing the quality of water and its progression in the studied system;
- **Stochastic** whose principles are based on statistical and / or probabilistic analyses of events occurring in space and / or time;
- **Objects**, i.e. object-oriented, which aim to directly model real system entities, defined as composite objects with a behaviour and a state.

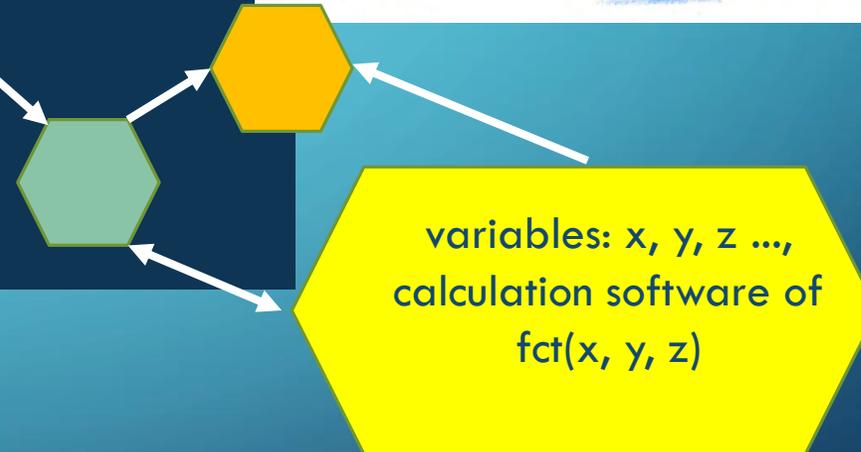
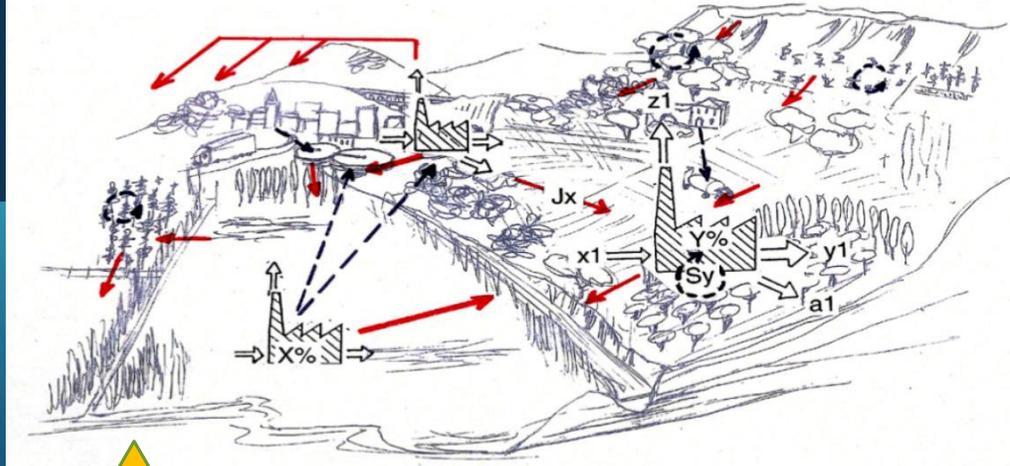
No conflicts between these types of models. The difficulty lies in the choice of the type of model according to the spatio-temporal dimensions and the available databases.

# Object-oriented models or element models

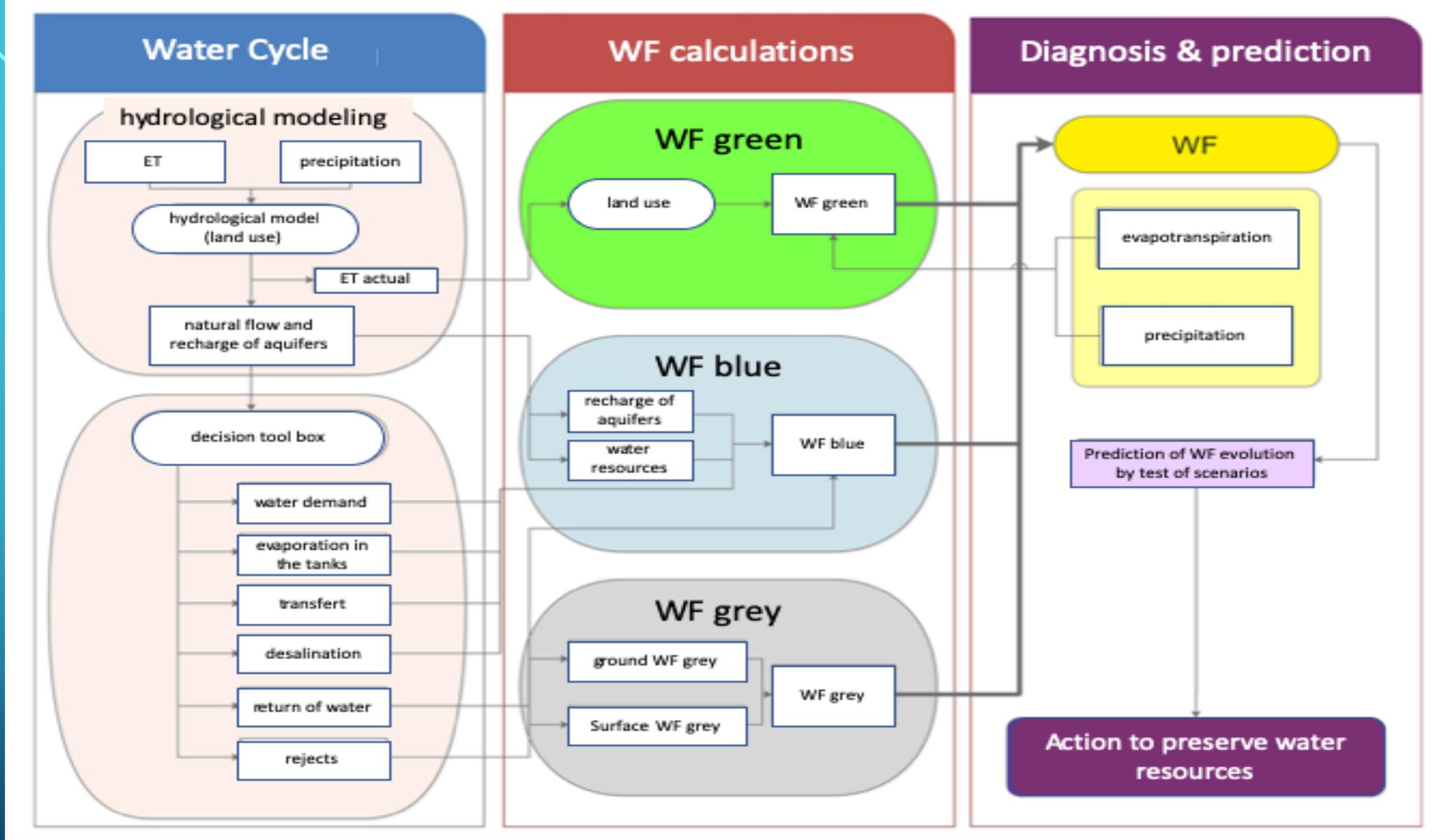
- Appeared with advances in computing power and the processing of heterogeneous data
- The problem is divided into homogeneous entities
- The « objects » are defined and then their interactions



topology of the flows of matter and water →  
topology of internal and external signals - - -

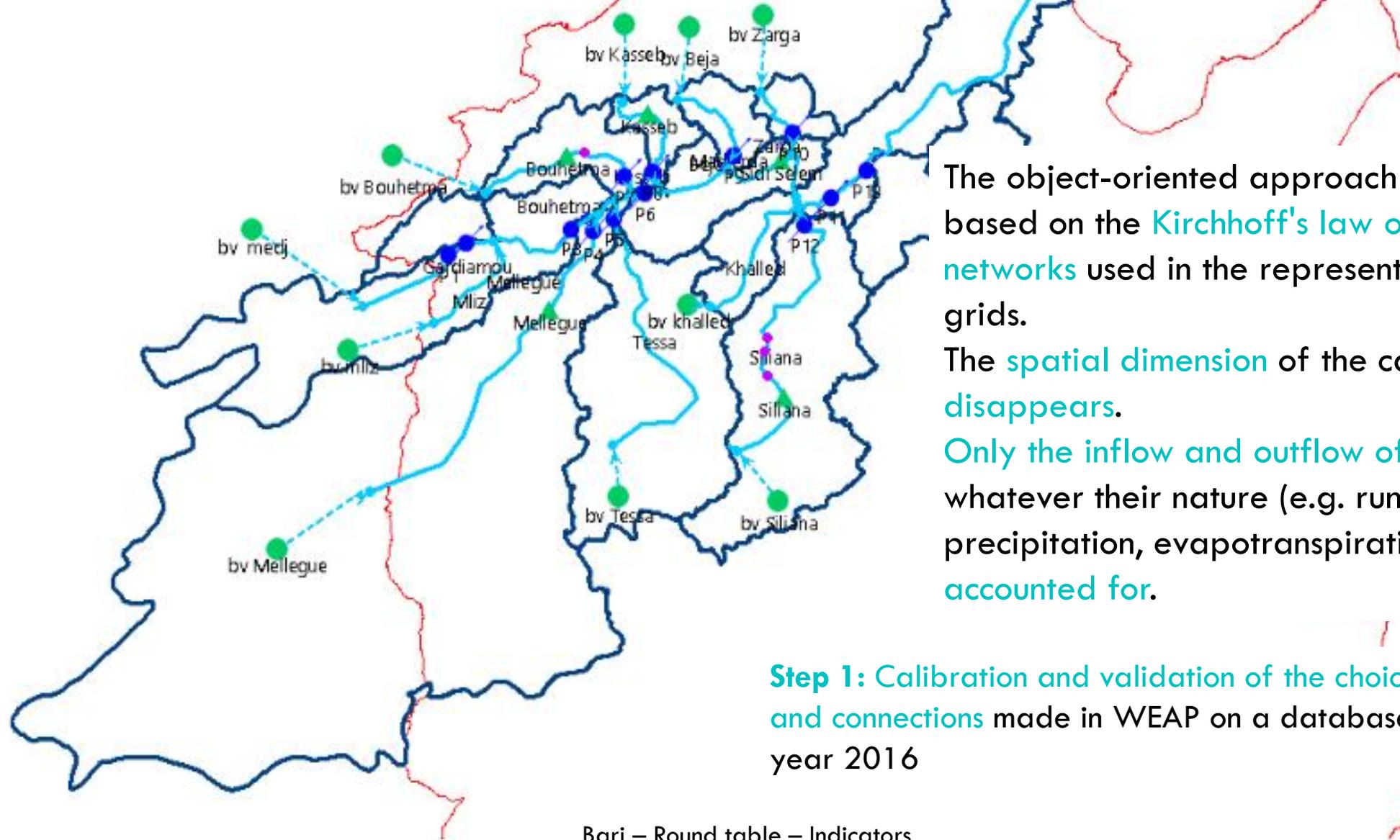


Find the right level of abstraction for the representation of objects so that they can be manipulated and interpreted by a computer program



WEAP (Water Evaluation & Planning) software proposed by the Stockholm Institute from Boston University (USA)

## Synthesis of objects and connexions used in WEAP model



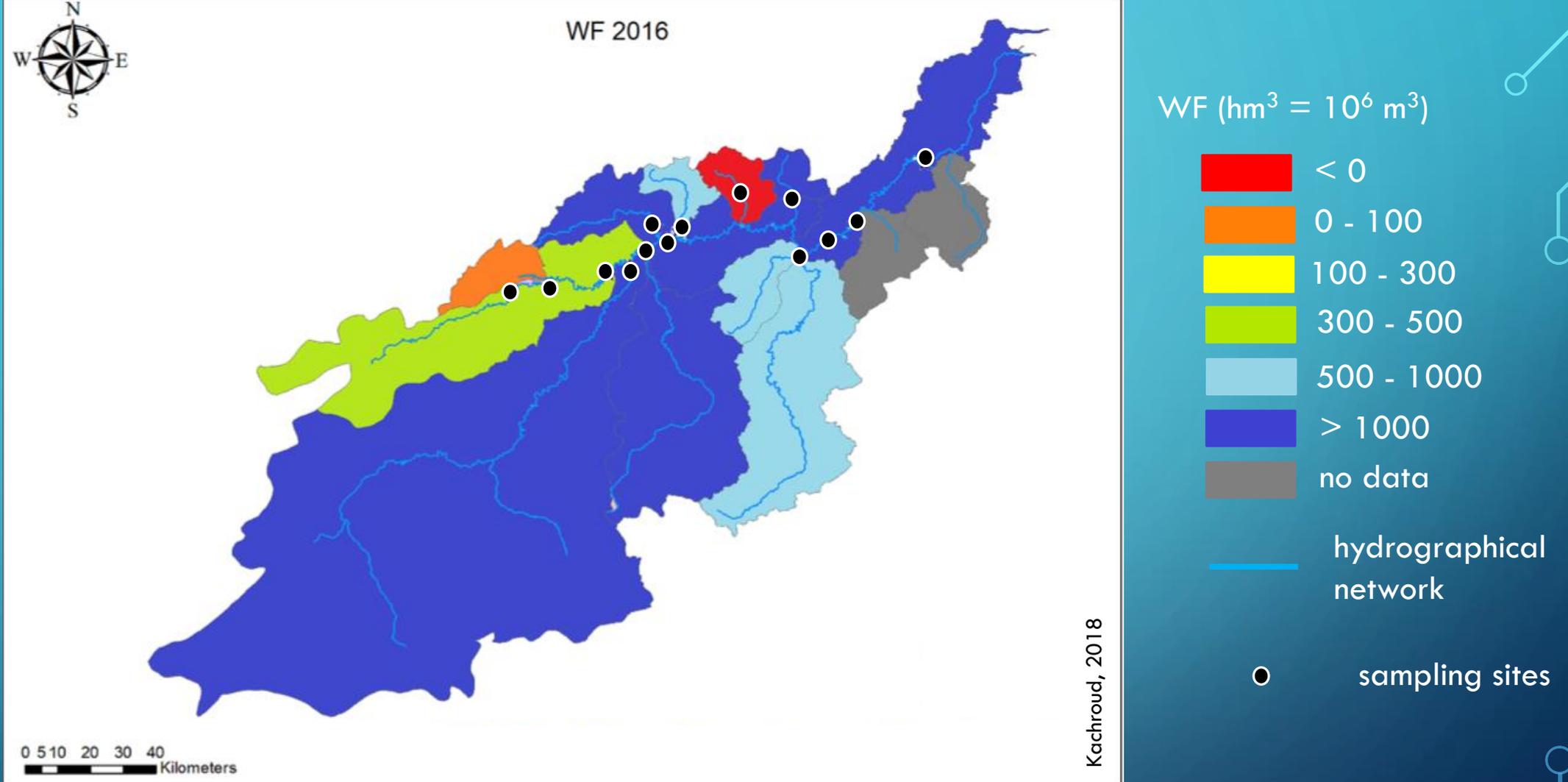
The object-oriented approach used here is based on the **Kirchhoff's law of nodes and networks** used in the representation of power grids.

The **spatial dimension** of the catchment **disappears**.

**Only the inflow and outflow of water**, whatever their nature (e.g. runoff, precipitation, evapotranspiration ...) **are accounted for**.

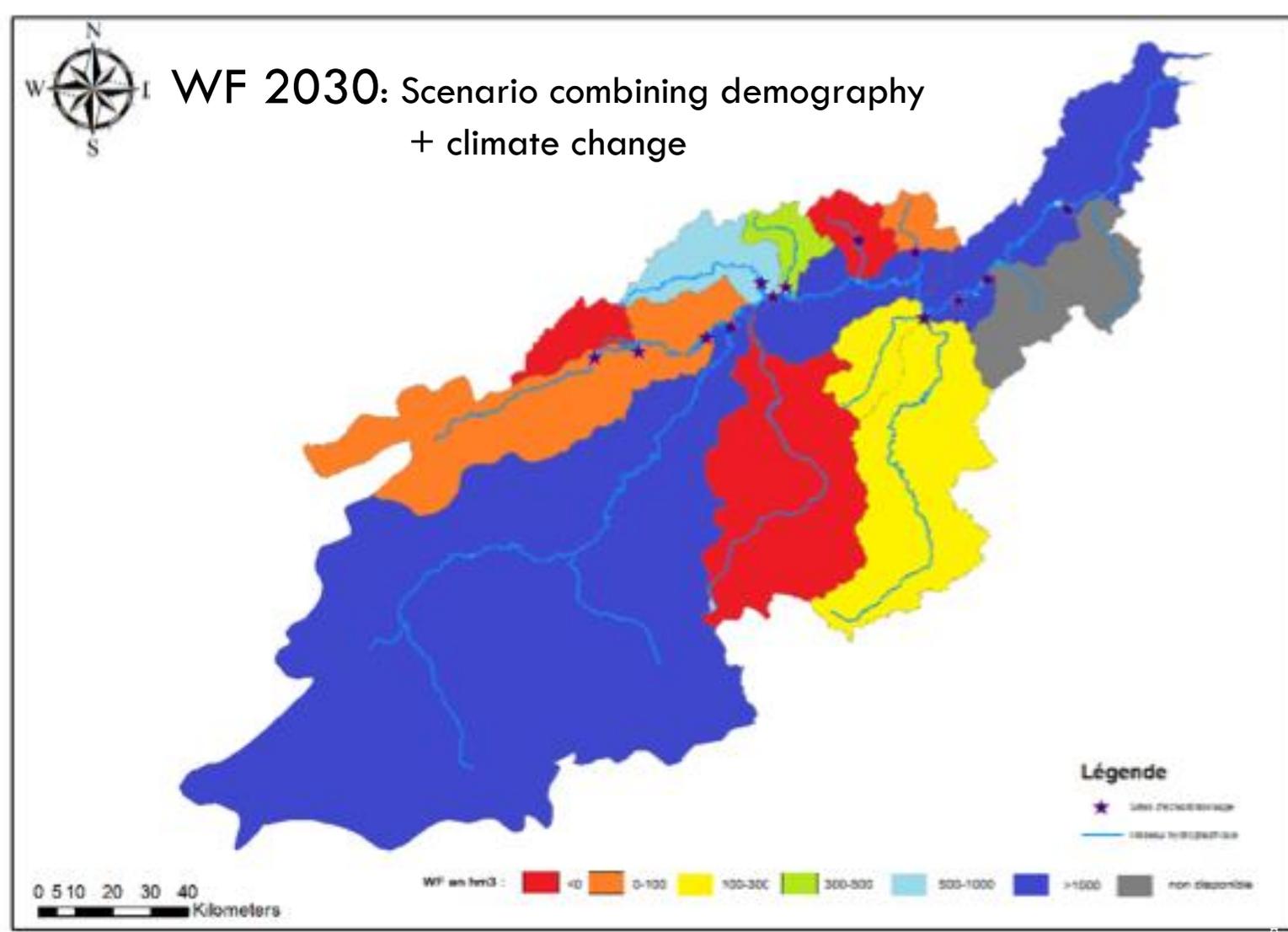
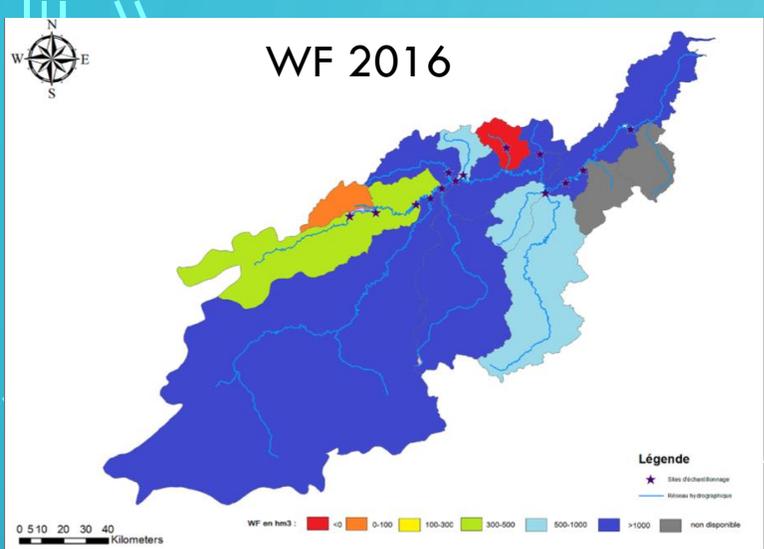
**Step 1: Calibration and validation of the choices of the objects and connections** made in WEAP on a database measured on the year 2016

# Results



>>> By comparison of observations and simulations, the error on the surface water balance is of the order of 7%.

**Diagnosis:** the higher the value of WP (dark blue colour), the lower the risk of scarcity and conflicts of water use.



**Step 2 :** Definition of a scenario

**Step 3 :** WF calculation for this scenario

At 2030 horizon, the overall WF of the Medjerda basin remains satisfactory.

But, in some sub-catchments, the WF has a tendency to degradation.

This means that in some sub-catchments the water supply could no longer cover the water demand.

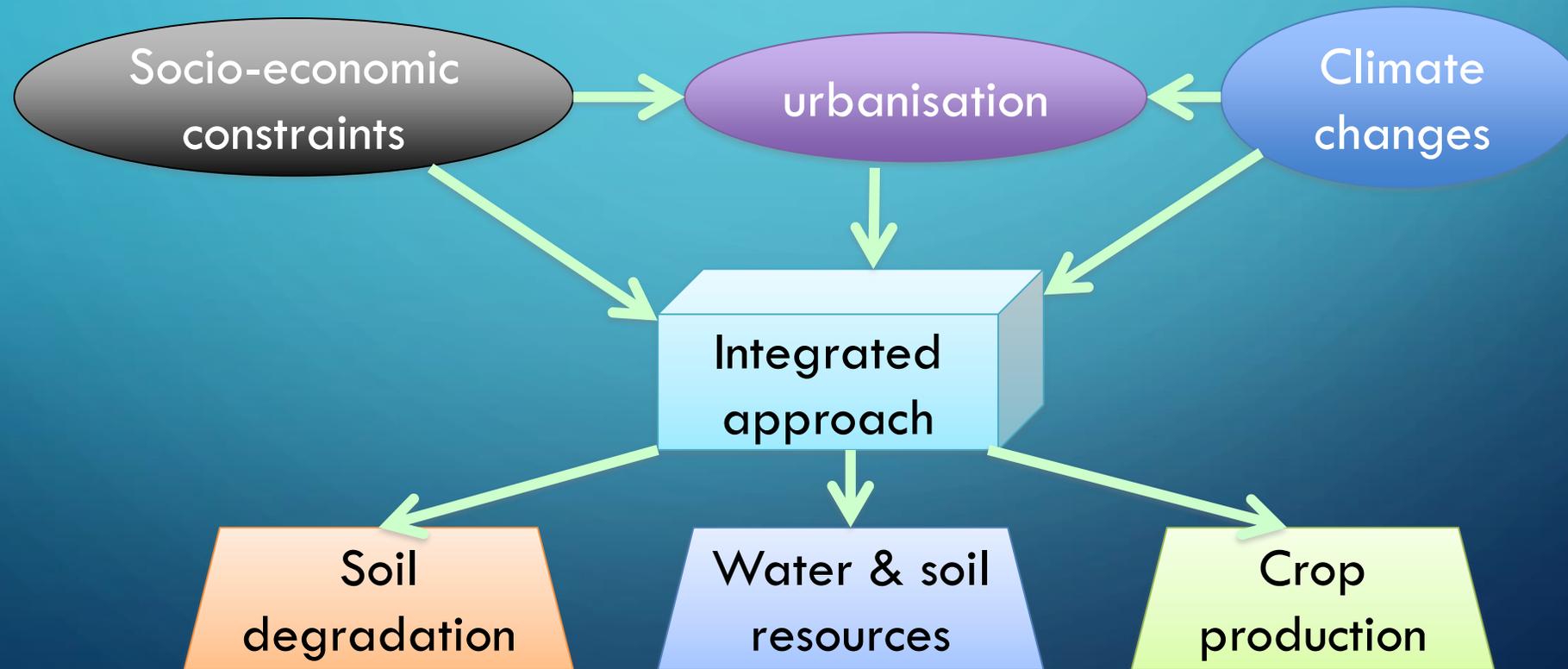
# HOW DOES



# WORK ?

It synthesises heterogeneous scientific data on **land, water, climate** and **urban development**.

It gives the information in an accessible way both in **real time** and at the  **$t_0+20$  years horizon** through predictive scenarios.



# Scoreboard of indicators

**Driving forces:** Socio – economic and regulatory constraints  
Urbanisation, Climate change



<b>Artificialisation of soils</b>
<b>A</b> Land use
<b>B</b> Fragmentation of natural habitats
<b>C</b> Soil sealing

<b>Water and Soil resources</b>		
<b>D</b> Dynamics of the groundwater table	<b>G</b> Safety of water	<b>J</b> Soil acidification risks (1)
<b>E</b> Supply of fresh water	<b>H</b> Risk of salinisation of waters	<b>K</b> Soil acidification risks (2)
<b>F</b> Risk of pollution with industrial origins	<b>I</b> Risk of salinisation of soils	<b>L</b> Soil sodisation risks

<b>Agricultural production</b>
<b>M</b> Soil agronomical qualification index
<b>N</b> Agricultural production
<b>O</b> Drainage

Simulating  
the future

In the Crau area

scenario building for the 2030 horizon

The situation of reference was  
calibrated with data from:

1997 – 2009 for urban sprawl

2001 – 2010 for climate and agricultural  
production

Simulating  
the future

4 scenarios

**CLIMATE CHANGE**

**CHANGES IN LAND USE**

**CHANGES IN WATER USES**

1

2

4

3

Analysis of the impacts of these 4 scenarios on soils,  
water, urbanisation and agricultural production

# SCENARIO 4 AT THE 2030 HORIZON

CLIMATE CHANGE

+

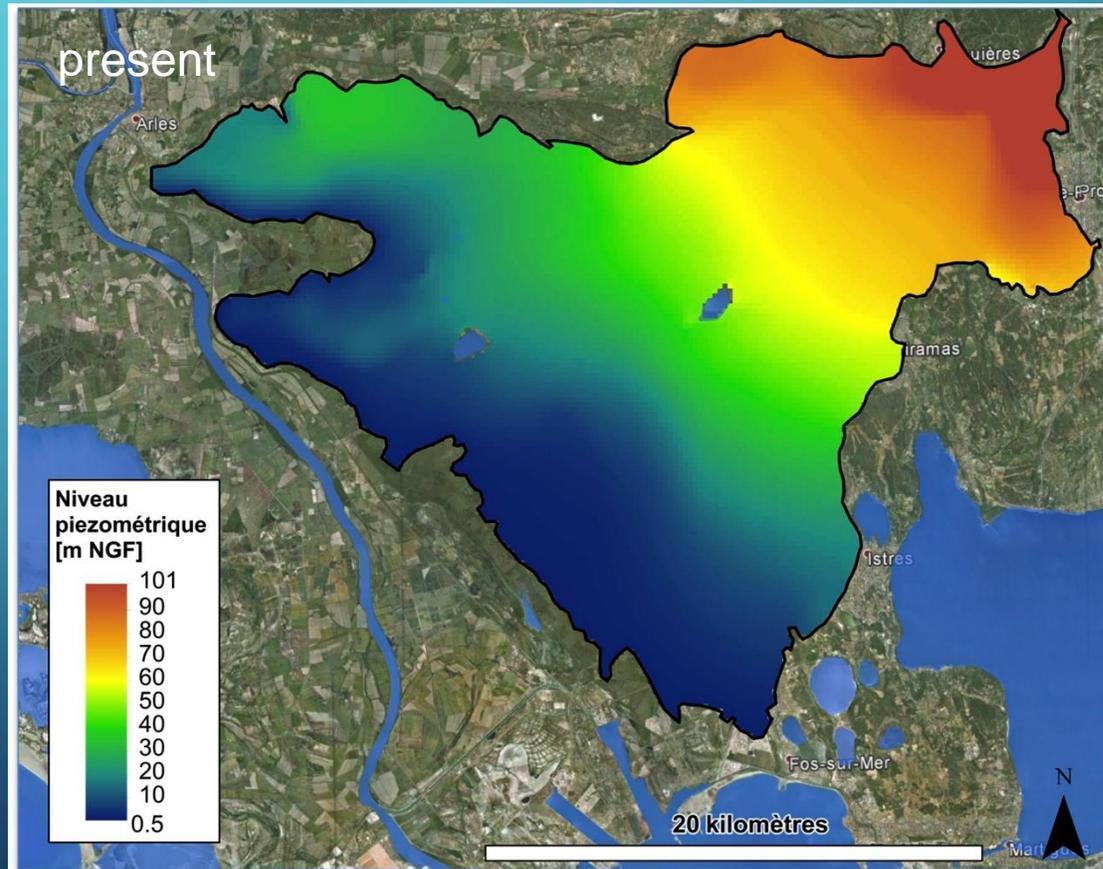
LAND USE CHANGES

+

WATER USE CHANGES

Estimation

Level of the water table





# SCENARIO 4 AT THE 2030 HORIZON

CLIMATE CHANGE

+

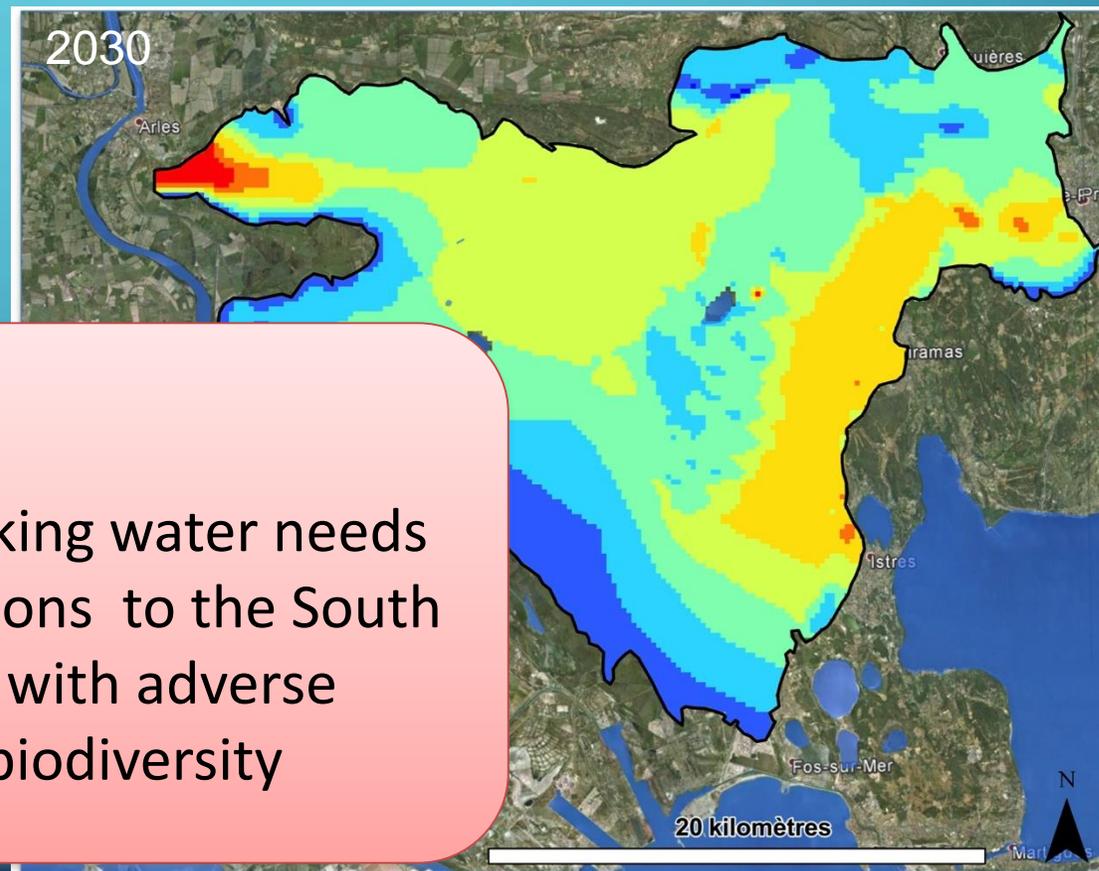
LAND USE CHANGES

+

WATER USE  
CHANGES

Estimation

Level of the water table



## Risks

- chronic deficit for drinking water needs
- seawater wedge intrusions to the South
  - dry out of marshes with adverse consequences for biodiversity

# Conclusions

**WATER and SOIL are scarce resources** and they cannot be relocated: they are the source of ecosystem services and the precondition to any possible local development.

The positive role of AFOLU (Agriculture, Forests & Other Land Use) on adaptation and mitigation of climate change leads the 5<sup>th</sup> IPCC WG 2 & 3 to recommend **acting on a territorial basis.**

Thus today's and tomorrow's urbanisation and land planning **must imperatively take these into account.**

To manage soil use changes, the Lavoisier principle should apply « nothing is lost, nothing is created, all is transformed »...

**Soil is not renewable at Human scale and we can't eat money h!**

**Thanks for your  
attention**