



WEFE SENEGAL

Projet d'Appui à la gestion des ressources en eau et du Nexus eau-énergie-agriculture dans le Bassin du Fleuve Sénégal



Guinée



Mali



Mauritanie



Sénégal

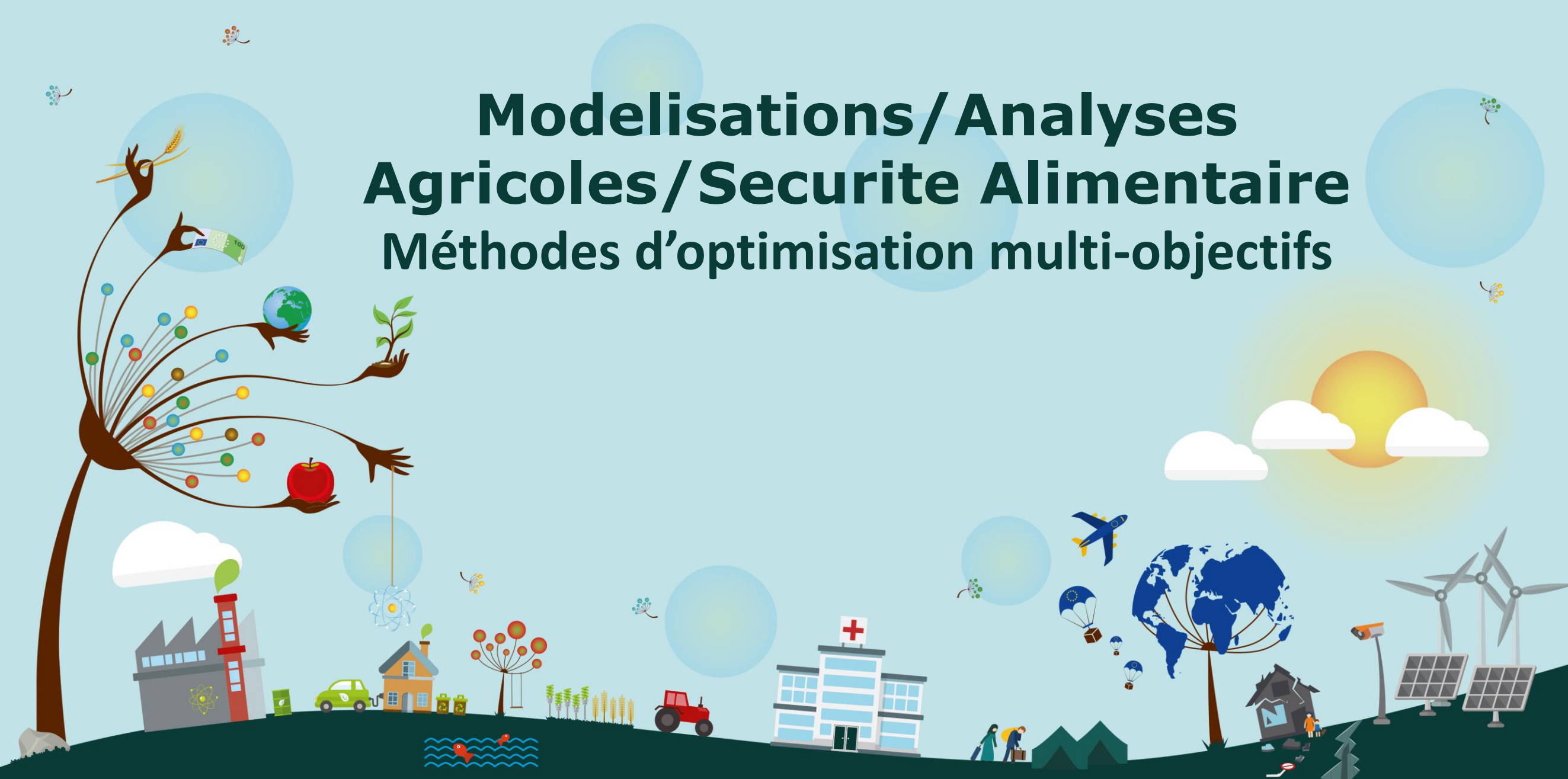


Session 4. Evaluation multi-objectifs du NEXUS

CCR

Méthodes d'optimisation multi-objectifs

Modélisations/Analyses Agricoles/Securite Alimentaire Méthodes d'optimisation multi-objectifs



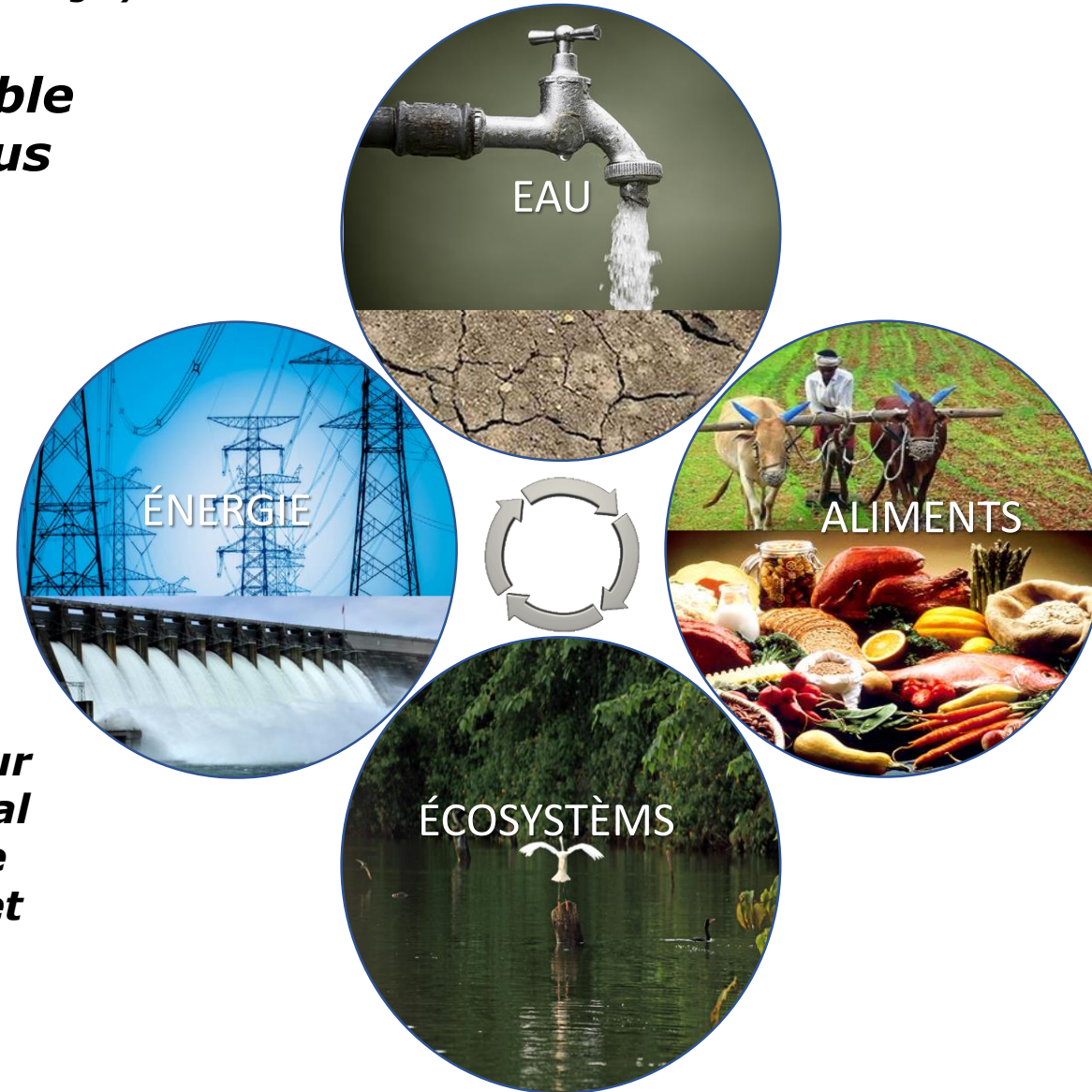
Introduction

Senegal Bassin hydrographique transfrontalier

(Guinea, Mauritania, Mali, Senegal)

La développement durable dans une approche Nexus

(WEFE) Nexus est une approche très pertinente pour le bassin de la rivière Senegal afin de définir une stratégie de développement durable et de trouver des compromis entre les différentes utilisations des ressources.



WEFE Nexus

Water - Eau

Energy - Energie

Food - Aliments

Ecosystem - Ecosysem

Les décideurs politiques dans les bassin doivent prévoir comment adapter leurs pratiques de gestion pour répondre aux demandes de différents secteurs e garantir:

- gestion de l'eau
- utilisation polyvalent de l'eau
- productive agricole
- sécurité alimentaire
- qualite de l'eau
- protection de l'écosystème

Introduction

- Plusieurs actions et aspects doivent être pris en compte pour l'évaluation de Nexus, par exemple:
- établissement du cadre de gouvernance de la coopération;
- examen, traitement et intégration des données disponibles dans le contexte du contexte socio-économique et biophysique
- identification des problèmes clés et des priorités de développement (implication des parties prenantes locales, ateliers, CaSSE et SDAGE)
- identification des outils et modèles nécessaires en fonction des priorités spécifiques identifiées et de la disponibilité des données; analyse de scénarios)
- développement et adaptation d'outils / méthodes sélectionnés avec des partenaires scientifiques et techniques locaux



BESOIN:

**Comprendre les compromis (trade-offs)
entre secteurs et activités,
entre bénéficiaires,
entre différentes échelles**

Optimisation multi-objectifs

- ❑ La problématique: identification des solutions optimales en considérant des aspects spécifiques (objectifs) et des conditions (contraintes)
- ❑ La plupart des problèmes de la vie réelle (surtout dans les sciences naturelles) n'ont pas qu'un seul objectif mais plusieurs à satisfaire simultanément. Dans certain cas , il est difficile de quantifier des objectifs et de les comparer.
- ❑ Les décideurs politiques doivent identifier les solutions optimales et trouver des compromis à des problèmes complexes.

Optimisation multi-objectifs

Avantages

- ✓ Elle permet de définir et d'évaluer des objectifs pour des **problématiques différentes** et **contrastées**
- ✓ Elle permet de définir les interconnexions entre différents composants et modèles → **évaluation Nexus**
- ✓ L'analyse de compromis quantitatif peut être effectuée → **'tradeoff analysis'**
- ✓ Des **solutions multiples** (Pareto) sont identifiées et **le choix final est laissé aux utilisateurs finaux** et aux décideurs locaux

Optimisation multi-objectifs

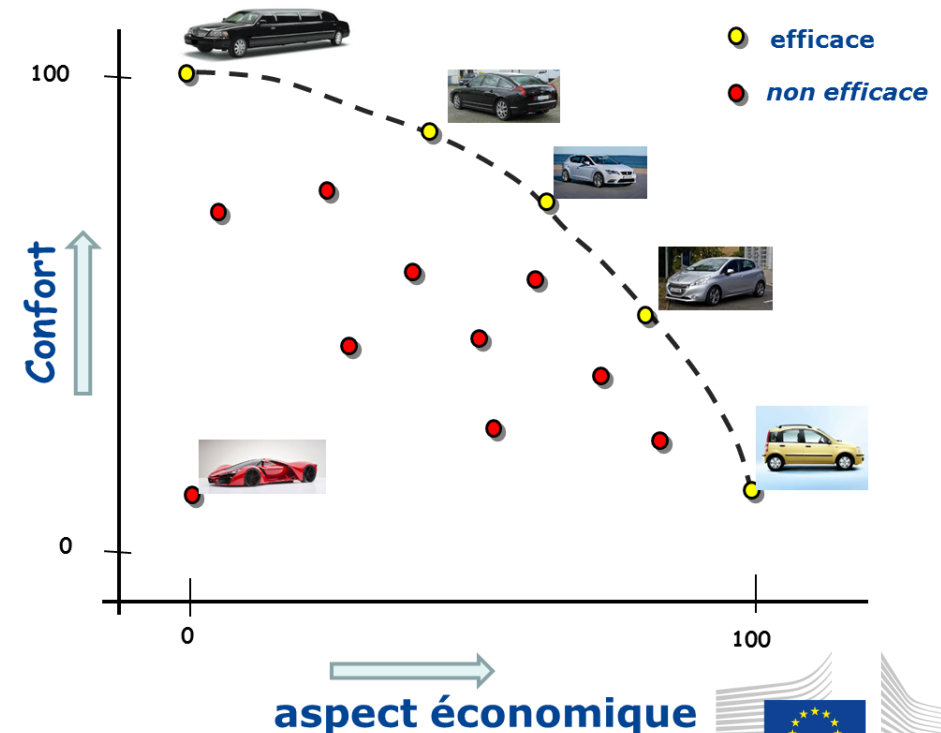
METHODES/théorie

- Par exemple lors de l'achat d'une voiture, l'acheteur doit choisir en fonction du cout-performance = **compromise** (trade-off) entre le **prix** et le niveau de **confort**

- Il n'y pas une unique solution mais:

une série de solutions optimales alternatives

choisir une voiture



Optimisation multi-objectifs

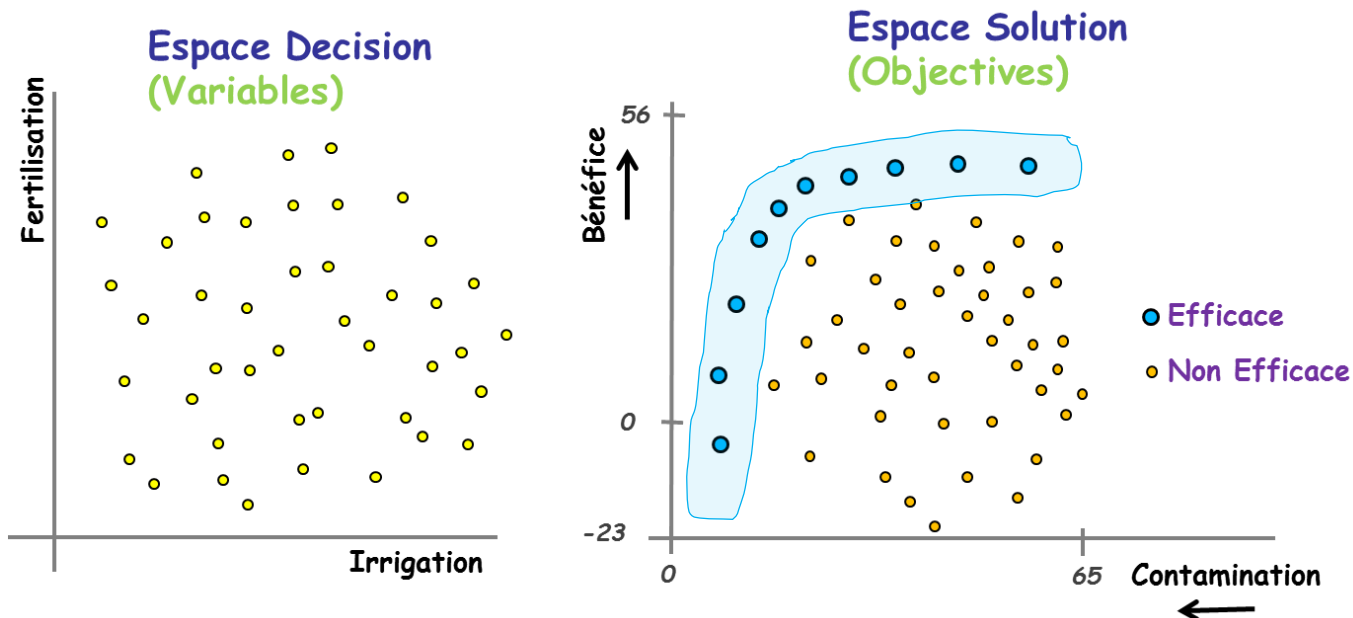
METHODES/théorie

Le modèle d'optimisation consiste en 3 séries d'éléments basiques

- ❑ **Une fonction objective:** elle définit la mesure de l'efficacité du système comme un fonction mathématique de variables de décision
- ❑ **Variables et paramètres de décision:** les variables de décision sont inconnues, ou à être déterminer par le modèle. Les paramètres sont connus et relatives aux variables décisions avec des contraintes et des fonctions objectives.
- ❑ **Contraintes:** pour prendre en compte le contexte technologique, économique ou autres..., le modèle peut inclure des contraintes , implicite ou explicite qui limitent l'intervalle de valeurs possibles des variables de décisions.

Ex: **minimizer** → coût d'irrigation

$$\sum_{i=1}^{ns} \sum_{j=1}^{nt} W_{ij} * A_j * WCost_{ij}$$



Série Pareto optimale:
Une Solution Pareto Optimale n'est pas unique, il existe une série de solutions connues qui sont optimales et compose la série Pareto optimale.
→ Elle représente une la série complète de solutions pour un problème moo

Optimisation multi-objectifs

Quelques exemples d'application

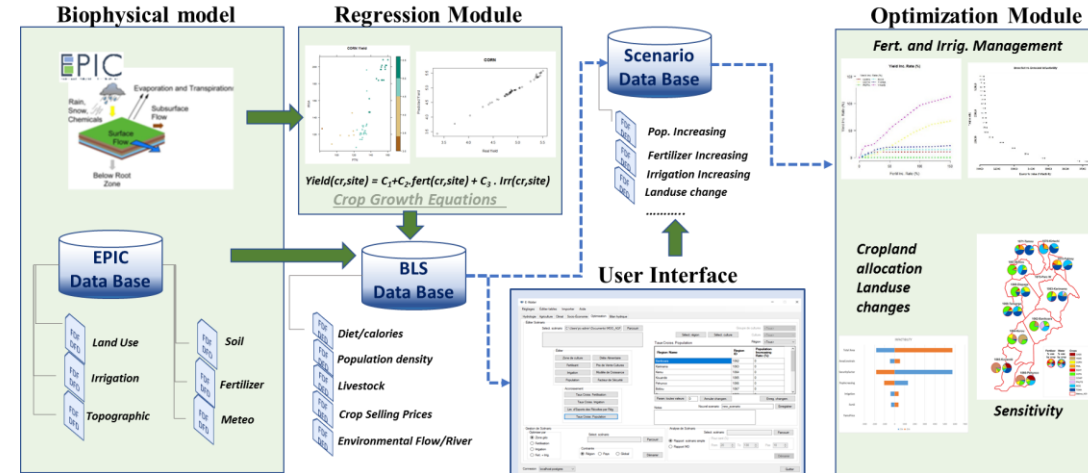
Analyses →

Exemple d'application dan un bassin transfrontalière (Mékrou – Niger RB)

Ex1. Simulation de scénarios de sécurité alimentaire avec MOO

Ex2. Simulation pour l'analyse et l'optimisation de pressions multiples sur le bilan hydrique

Methodological framework of the multi-objective optimization module



Optimisation multi-objectifs

Analyses → Exemple d'application dan un bassin transfrontalière (Mékrou – Niger RB)

- ❑ Les modules SWAT et EPIC peuvent être combinés et utilisés pour évaluer les scénarios en fonction de la demande future en eau simulée, du changement de distribution des terres pour assurer la production végétale et la croissance du cheptel et la pression démographique
- ❑ Les sorties de modèles de simulation (SWAT, EPIC, autres modèles, modèles de régression simplifiés, méta-modèles) sont utilisées pour alimenter le module MOO afin de calculer des solutions optimales en fonction d'objectifs définis

Optimization multi-objectifs

Analyses →

Ex1: Simulation de scénarios de **sécurité alimentaire** avec MOO

- ❑ Évaluer l'impact de la disponibilité plus élevée d'engrais et de l'augmentation de l'irrigation sur la sécurité alimentaire et analyser, pour quelle culture cette utilisation additionnelle est la plus efficace,
- ❑ évaluer les impacts de l'augmentation de la population
- ❑ optimisation de l'augmentation des terres arables
- ❑ identification de la redistribution optimale des cultures dans les terres arables et / ou l'analyse du remplacement de cultures spécifiques (par exemple la culture cotonnière)
- ❑ Analyse de l'impact sur la sécurité alimentaire de l'augmentation de la population, du changement des habitudes et des exigences alimentaires, du développement économique, de la concurrence pour les ressources des autres secteurs

Optimization multi-objectifs

Analyses →

Ex1: Simulation de scénarios de sécurité alimentaire avec MOO

Définition des fonctions des objectifs de sécurité alimentaire

Minimiser le déficit de besoins alimentaires de la population

$$\min \sum_r \sum_c FRD_{r,c}$$

Maximiser les avantages de l'excédent agricole total

Minimiser les coûts de la gestion de l'eau pour l'irrigation, de la fertilisation et de la gestion des cultures

$$g_1^{mp} = \sum_{i=1}^{HRU} \sum_{j=1}^{crop} (Y_{ij}^{mp} * A_{ij} * Up_j - Fc_{ij}^{mp} * Qf_{ij}^{mp} - Qw_{ij}^{mp} * Wc - Oc_j)$$

g_1^{mp} : agricultural total gross margin for the mp management practice;

Y_{ij}^{mp} : yield of crop j in HRU i under a mp practice;

A_{ij} : area (ha) of crop j in HRU i.

Up_j : unit price (income €/tm) of crop j.

Qf_{ij}^{mp} : quantity of fertilizer applied (kg/ha) to crop j in HRU i under a mp management practice.

Fc_{ij}^{mp} : unit cost of fertilizer (€/kg) of crop j in HRU i under a mp management practice.

Wc : the water irrigation unit cost (€/mm). This doesn't change across HRUs

Qw_{ij}^{mp} : irrigation quantity (mm/ha) for crop j in HRU i under a mp agricultural practice

Oc_j : operational management cost for the crop j.

Optimization multi-objectifs

Analyses →

Ex1: Simulation de scénarios de sécurité alimentaire avec MOO

Définition des Contraintes

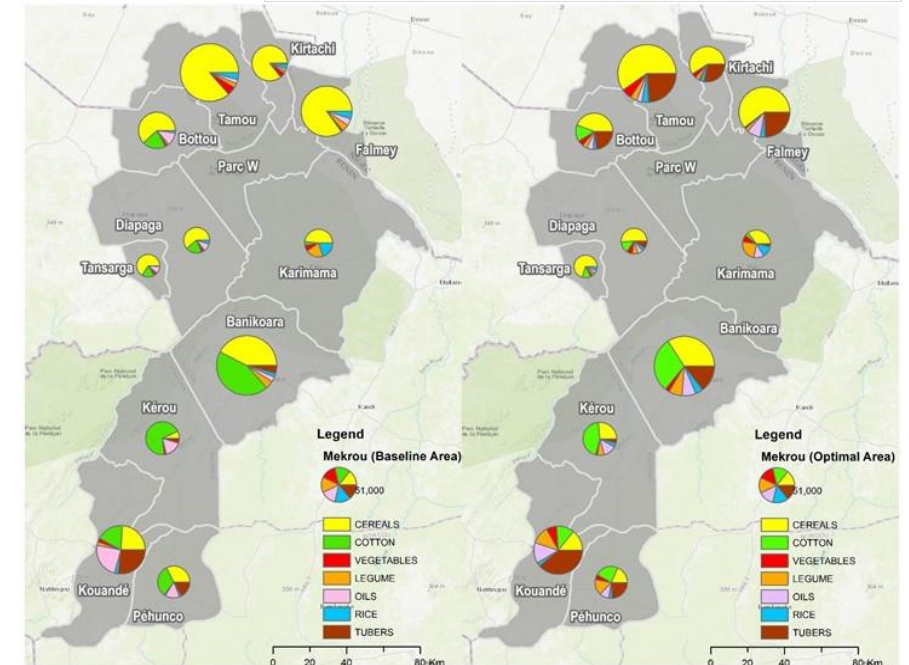
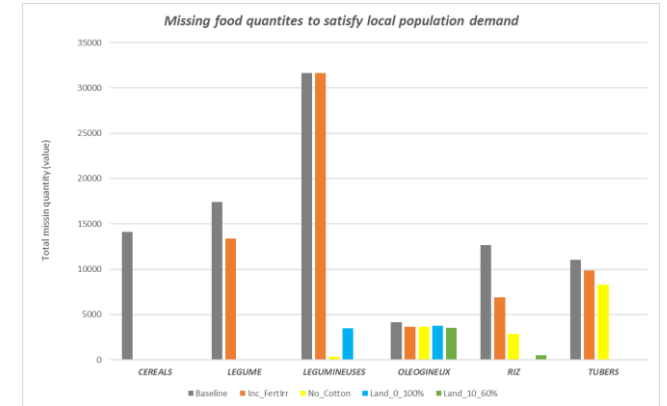
- maintenir une production minimale pour toutes les cultures;
- assurer que la demande alimentaire est satisfaite
- définir des limites pour les quantités maximales d'engrais (ex: pour chaque commune nous devons définir des pourcentages d'augmentation);
- définir le maximum d'eau utilisable pour l'agriculture (ex: peut être 30% du total d'eau disponible, différenciés pour chaque commune/pays);

Optimization multi-objectifs

Analyses → **Ex1: Simulation de scénarios de sécurité alimentaire avec MOO**

Indicateurs calculés

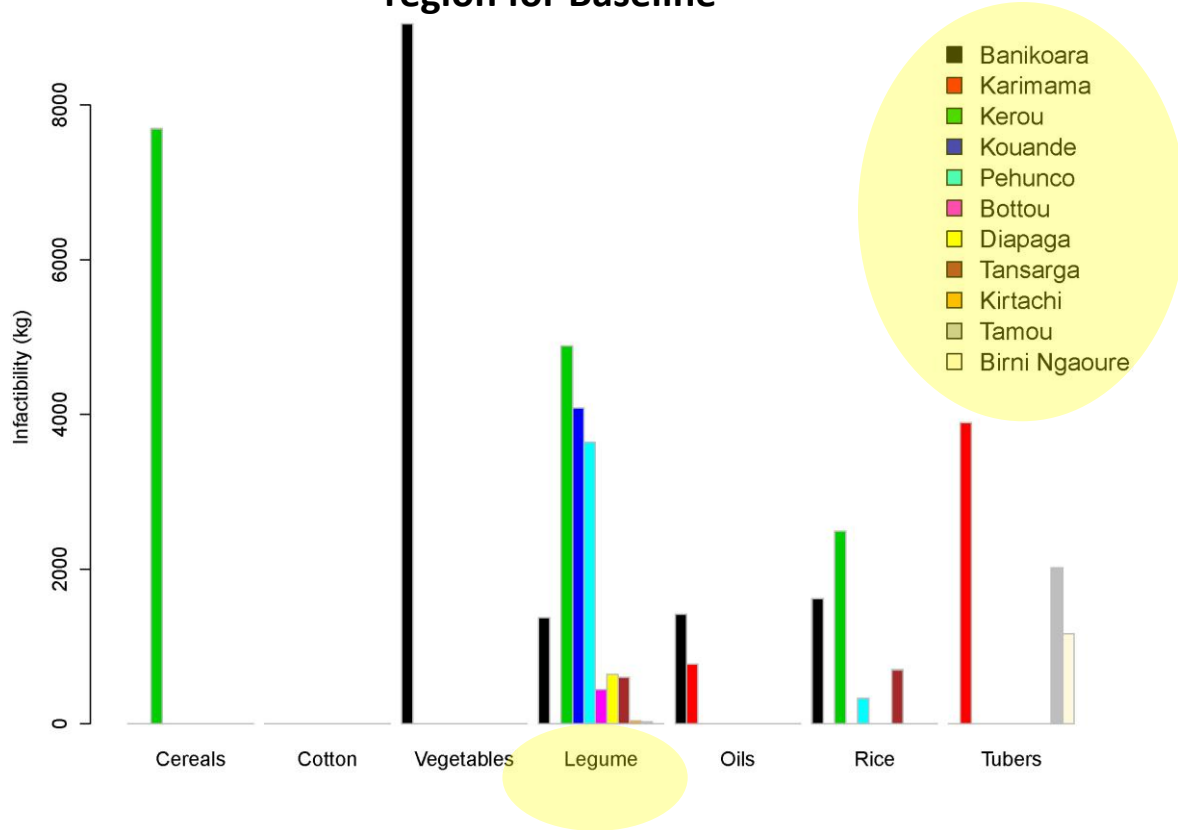
- production alimentaire vs demande alimentaire
- Identification des produits alimentaires manquants par la production locale régionale
- Demande pour la nutrition (kg)
- Taux de fertilisation optimisée (kg/ha)
- Quantités non faisables (production manquante)
- Production excédentaire
- Engrais Total optimisé
- Distribution Optimale des zones de cultures afin d'optimiser le profit des agriculteurs (et satisfaire les besoins alimentaires)



Optimization multi-objectifs

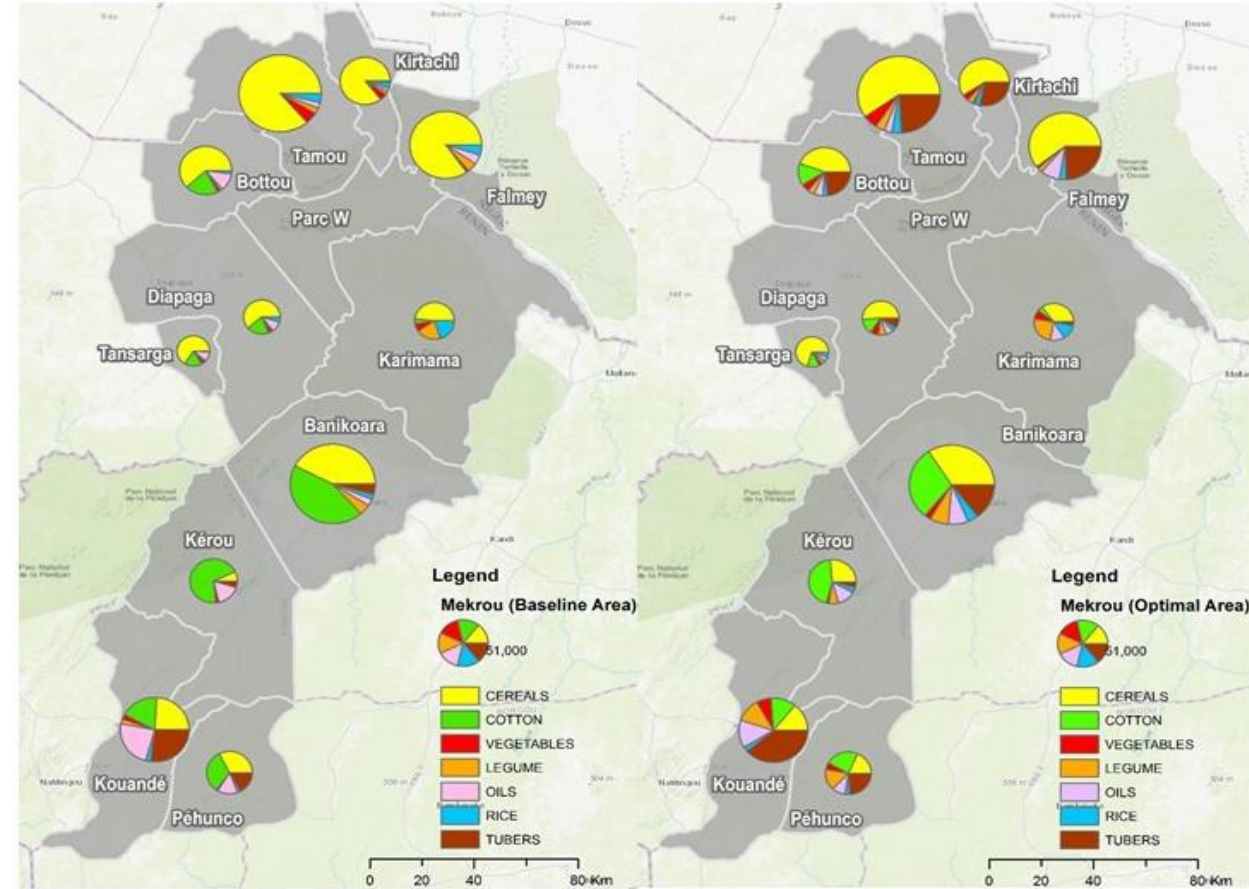
résultats

Infeasibility (food self-sufficiency indicator) by crop and region for Baseline



Identification des produits alimentaires manquants par la production locale régionale

Redistribution optimale des cultures régionales



Céréales replace par les tubercules (au Niger);réduction du coton au Benin, Augmenter les légumes au Benin et Burkina)

Combiner une redistribution des cultures avec des pratiques plus efficaces pourrait réduire de 96% la production manquante pour satisfaire la demande

Optimization multi-objectifs

Analyses →

Ex2: Simulation pour l'analyse et l'optimisation de pressions multiples sur le bilan hydrique

Les principales données à préparer pour l'analyse d'optimisation sont:

- ❑ La disponibilité totale d'eau douce dans la région / bassin et dans les sous-bassins
- ❑ toutes les demandes d'eau au niveau des sous-bassins

Les pressions considérées sont dérivées de

- La demande d'eau pour la population
- La demande d'eau pour le cheptel
- La demande d'eau pour l'agriculture
- La demande d'eau pour l'industrie/électricité

Optimization multi-objectifs

Analyses → **Ex2: Simulation pour l'analyse et l'optimisation de pressions multiples sur le bilan hydrique**

Nous considérons un indicateur numérique de l'état de l'eau défini comme le rapport du volume annuel d'eau par rapport au volume d'eau disponible, au niveau d'un sous-bassin

Ceci est défini comme « **Water Exploitation Index, WEI** »

L'optimisation est faite en considérant que le plus mauvais WEI pour chaque sous-bassin (une autre option pourrait être d'optimiser les WEI des sous bassins en considérant la moyenne au lieu des valeurs)

Optimization multi-objectifs

Analyses → **Ex2: Simulation pour l'analyse et l'optimisation de pressions multiples sur le bilan hydrique**

Définition des fonctions des objectifs

Maximiser l'indicateur d'état du plan d'eau (basé sur le débit minimum de la rivière)

$$\max \sum_{sb} WBSsb$$

Minimiser l'indicateur d'utilisation d'eau

$$\min \sum_{sb} \frac{UrbW + AgrW + LivW + IndW}{Natural\ River\ Flow}$$

Minimiser les coûts/efforts de mise en œuvre pour chaque secteur

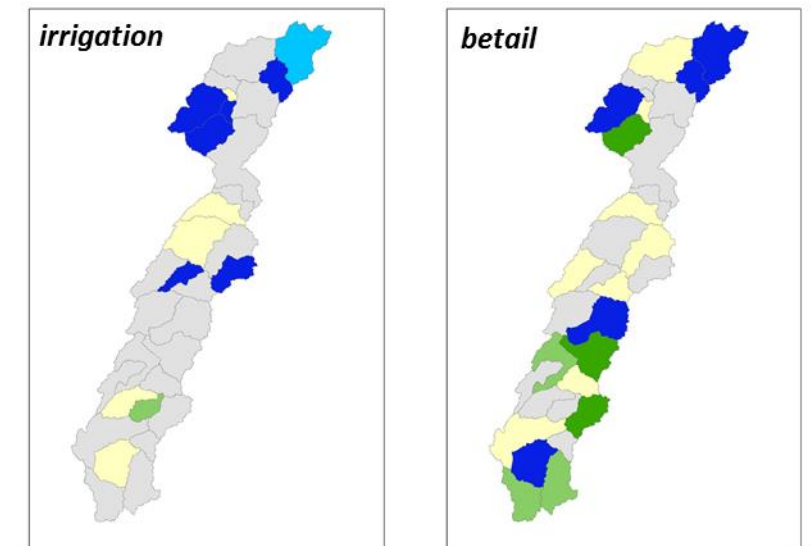
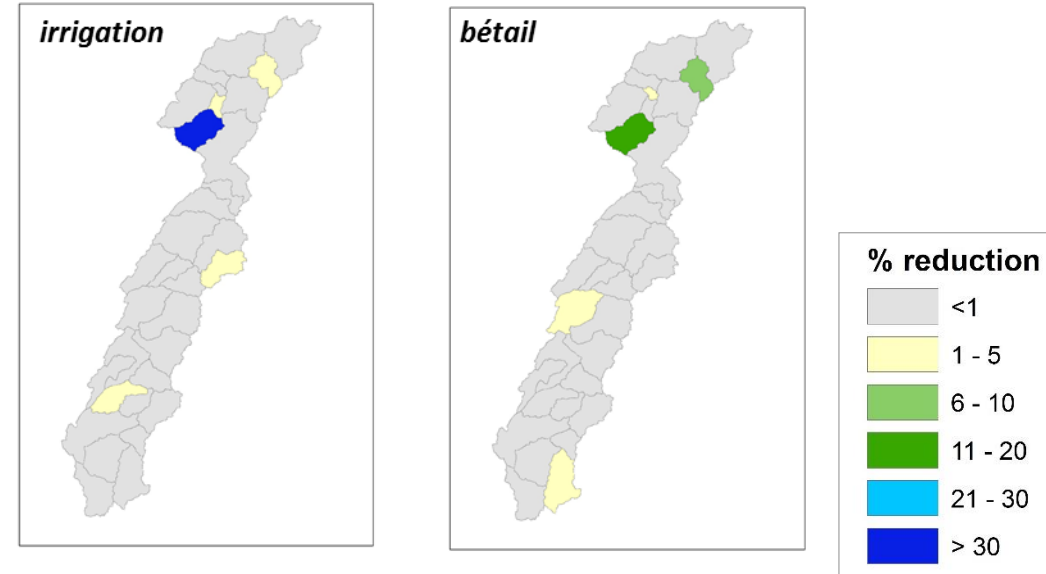
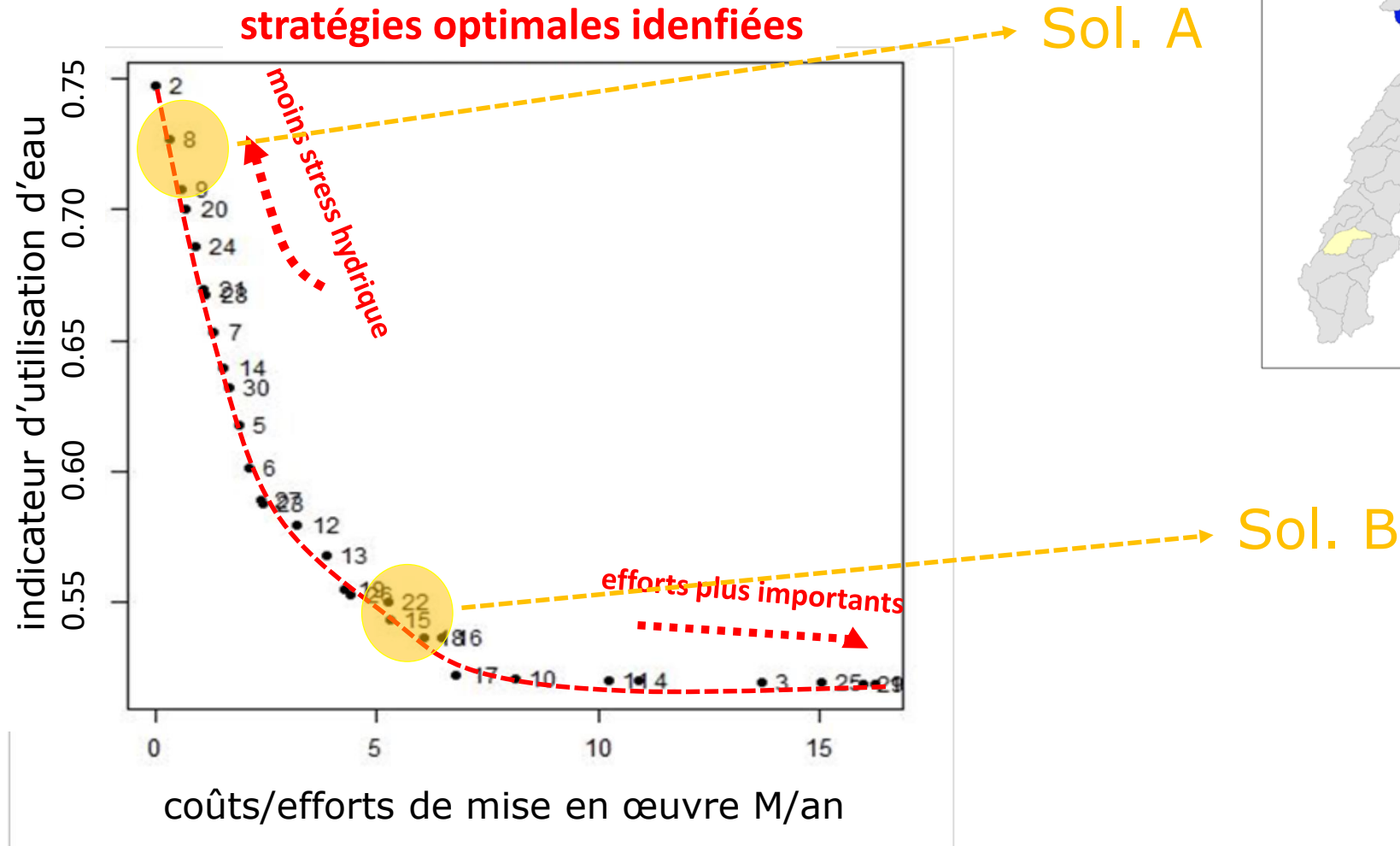
$$\min \sum_{sb} (TD_{sb}^U \cdot DR_{sb}^U) \cdot W^U + (TD_{sb}^A \cdot DR_{sb}^A) \cdot W^A + (TD_{sb}^L \cdot DR_{sb}^L) \cdot W^L$$

Optimization multi-objectifs

Analyses →

Ex2: Simulation pour l'analyse et l'optimisation de pressions multiples sur le bilan hydrique

résultats



Optimization multi-objectifs

Résumé et discussion

- Dans le contexte du processus MOO, il est crucial de définir :
 1. Les objectifs à optimiser (ceux qui doivent être maximiser et ceux qui doivent être minimiser)
 2. Les contraintes à inclure dans l'analyse

Objectifs :

- maximiser la production agricole;
- minimiser les coûts d'engrais;
- maximiser la production agricole seulement pour les cultures vivrières ou pour les culture de rente;
- minimiser les coûts d'irrigation;
- maximiser la production d'électricité
- minimiser les impact sur l'environnement

Contraintes :

- maintenir une production minimale pour toutes les cultures;
- assurer que la demande alimentaire est satisfaite (au niveau local, ou a niveau du bassin versant, ou à quel niveau?);
- définir des limites pour les quantités maximales d'engrais (ex: pour chaque commune nous devons définir pourcentages d'augmentation);
- définir le maximum d'eau utilisable pour l'agriculture (ex: peut être 30% du total d'eau disponible, différenciés pour chaque commune/pays);

Optimization multi-objectifs

Résumé et discussion

- La technique d'Optimisation permet d'identifier les solutions optimisées par rapport à des objectifs cibles prédefinies (une forte production agricole, un minimum de pollution des sols, coûts minimum associés) et des contraintes (occupation des sols, diètes, habitudes sociales, disponibilités de la ressource)
- Conduit à la définition d'un panel de solutions de compromis (trade-off) qui ne sont pas meilleurs ou pire que les autres
- Plusieurs solutions optimales sont identifiées par l'outil et le choix final doit être adopté par les bénéficiaires réels

Optimization multi-objectifs

Résumé et discussion

- Il sera important d'identifier les objectifs à optimiser, les contraintes et les modèles, indicateurs et données à inclure dans l'analyse.
- Un module pour la composante énergie doit être développé et intégré dans le système
- D'autres modules / données peuvent également être introduits lors de l'identification (par exemple pour les barrages?)
- Cette identification nécessiterait le partage avec les parties prenantes et les partenaires locaux



Thanks

Questions?

You can find me at **marco.pastori@ext.ec.europa.eu**

Some references:

Pastori, M., Udías, A., Bouraoui, F., Bidoglio, G., 2017. A Multi-Objective Approach to Evaluate the Economic and Environmental Impacts of Alternative Water and Nutrient Management Strategies in Africa. J. Environ. Informatics 29, 16–28. <https://doi.org/10.3808/jei.201500313>

Udias, A., Pastori, M., Dondeynaz, C., Carmona Moreno, C., Ali, A., Cattaneo, L., Cano, J., 2018. A decision support tool to enhance agricultural growth in the Mékrou river basin (West Africa). Comput. Electron. Agric. 154, 467–481. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.09.037>

