

eNexus tool and WEFE Nexus in Developing Countries

E-Nexus – Le Module Bioenergie – Optimisation & WEFE

Theorie

1 . Bioénergie (MODULE DE FORMATION AGRI-BIOENERGIE – (formation en ligne 20-21 sep)

2. WEFE Nexus & Optimisation

1 . Bioénergie (MODULE DE FORMATION AGRI-BIOENERGIE - formation en ligne 20-21 sep)

<https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/en/projet-wefe-senegal-wefe-senegal-comit%C3%A9-scientifique/events/wefe-senegal-20-21-septembre-2021>

- Introduction à la bioenergy: la théorie et les approches méthodologiques qui ont été utilisées pour le développement du module bioénergie dans eNexus, l'intérêt de ce type d'analyse le contexte dans lequel l'analyse a été développée
- Le model et les indicateurs (demande énergétique de la population, demande en énergie pour l'irrigation,
- Exemple d'analyse et d'évaluation

$$EnPot_i = P_{ra} * LHV_i * EPE_t$$

résidus disponibles générés annuellement

pouvoir calorifique

Coefficient d'efficacité de la technologie des usines de conversion d'électricité

2. WEFE Nexus & Optimisation

- Un résumé et une rapide introduction à WEFE
- Optimisation, MOO, Objectifs et contraintes

E-Nexus - Approche méthodologique

La développement durable dans une approche Nexus dans les bassins hydrographique transfrontaliers

(WEFE) Nexus est une approche très pertinente pour le bassin transfrontaliers a fin de définir une stratégie de développement durable et de trouver des compromis entre les différentes utilisations des ressources.

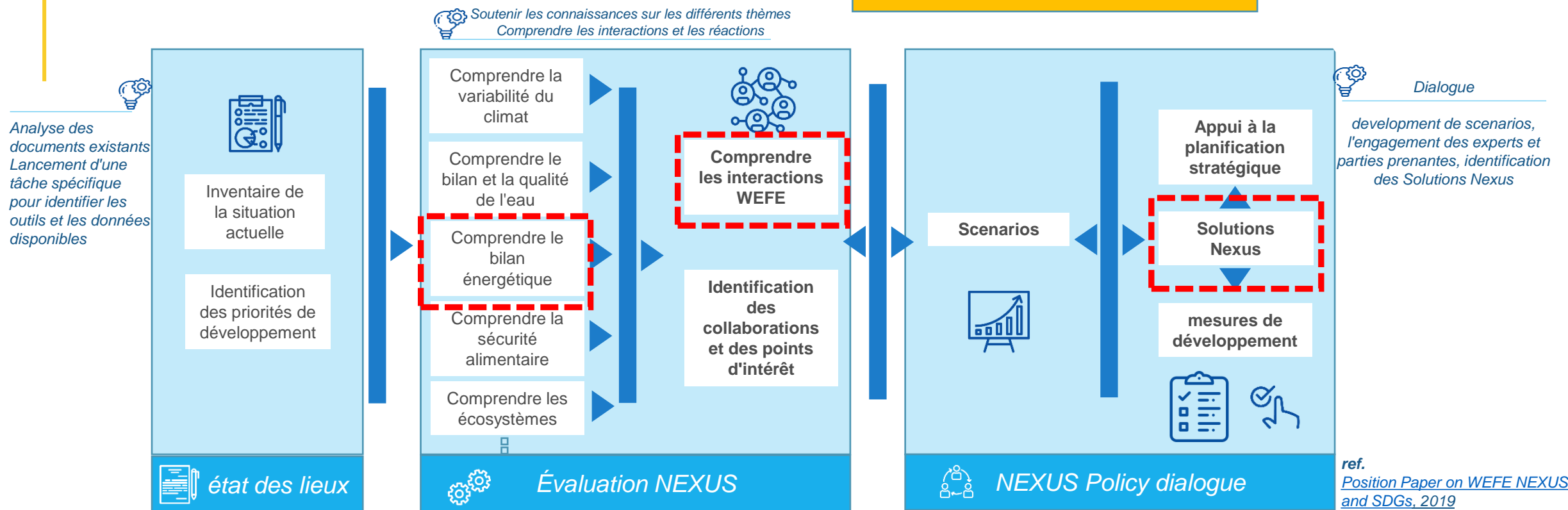


Mots-clés WEFE
“trade-off”, compromis, synergies, efficacité, optimisation, win-win, durabilité

Aspects clés

- intégrer la gestion et la gouvernance dans les secteurs de l'alimentation, de l'énergie, de l'eau et des écosystèmes (**plus de secteurs, mais chaque secteur au même niveau**)
- **spécifique aux différents contextes et exigences** de planification (les composantes dépendent du cas spécifique)
- doit répondre à des **questions complexes (non sectoriel)**
- nécessite une bonne connaissance de **l'état des ressources, des acteurs et des parties prenantes**
- doit permettre d'identifier les enjeux, **la concurrence, les conflits et les synergies** par l'analyse et l'identification de scénarios d'optimisation prospective axés sur **l'efficacité de l'utilisation des ressources**
- Aide à assurer la cohérence des politiques sectorielles
- a été appliqué à **différentes échelles** : à l'échelle mondiale et nationale, dans les bassins fluviaux transfrontaliers, dans les villes individuelles
- **Il faut toujours un dialogue**

WEFE Nexus Processus et modélisation



MODULE Opti - BIOENERGIE

eNexus tool

Digitalisation des données pour la modélisation

SIG, DB, enquêtes, bibliographie

modélisation thématique

Hydro: SWAT / LISFLOOD
 Agri: GISEPIC
 Energy: Bioenergy Model and PIV
 Climate: SPI, L-Moments
 Quality: SWAT, GREEN

Objectifs multiples et optimisation

MOO methods: single objective, multi objective, water vs bioenergy, crop land allocation, crop management optimization, water demands assessment



European Commission

E-Nexus - Approche méthodologique

Introduction

Objectifs multiples et optimisation

- 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 naturelle) 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.
- Dans ce contexte des **techniques d'optimisation simple et multi-objectifs apparaissent comme des outils pour identifier des solutions**

E-Nexus - Approche méthodologique

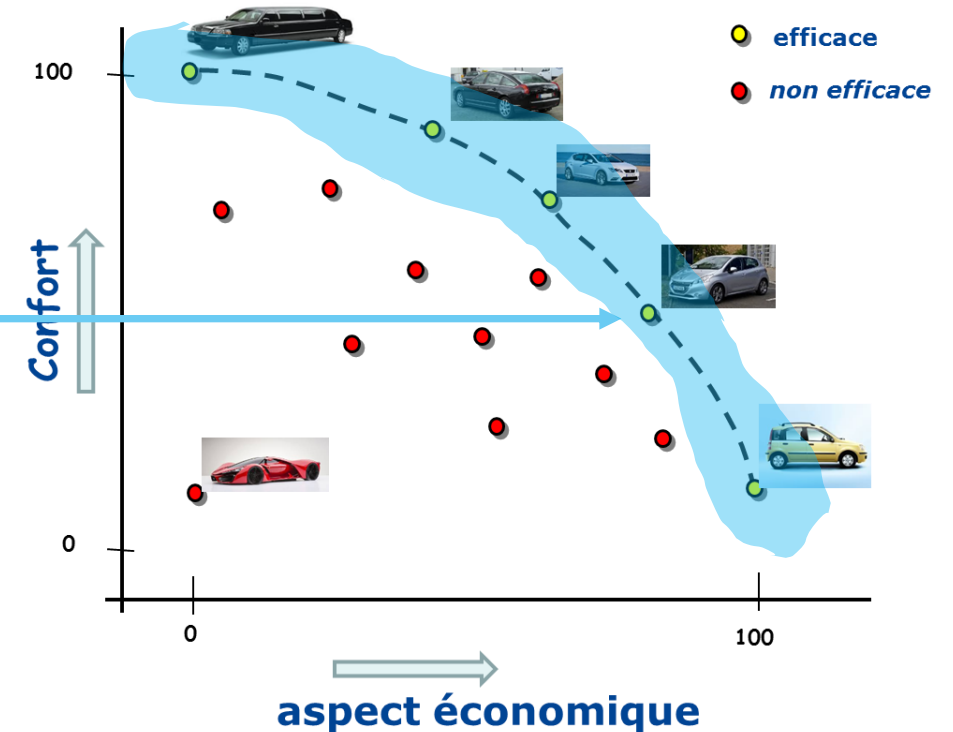
Introduction

Objectifs multiples et optimisation

Un exemple

- Par exemple lors de l'achat d'une voiture, l'acheteur doit choisir en fonction du cout-performance = **compromis 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



E-Nexus - Approche méthodologique

Introduction

Objectifs multiples et optimisation

- La question est aussi de savoir “**qu’est ce qu’une solution optimale**” ?



Techniques d’optimisation

- L’objectif est de maximiser ou de minimiser une fonction (ex: *maximiser* le profit économique; ou *minimiser* les impacts environnementaux), selon une série de *contraintes*.
- Le but global de l’optimisation est de trouver les meilleurs éléments x^* d’une série X selon des (n) critères $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$
- Ces **critères** sont exprimés comme des fonctions mathématiques et donc appelées **fonctions objectives**
- Nous pouvons dire que le terme optimiser fait référence à la recherche de ***solutions produites par les fonctions objectives et acceptable par les décideurs politiques.***

E-Nexus - Approche méthodologique

Introduction

Objectifs multiples et optimisation

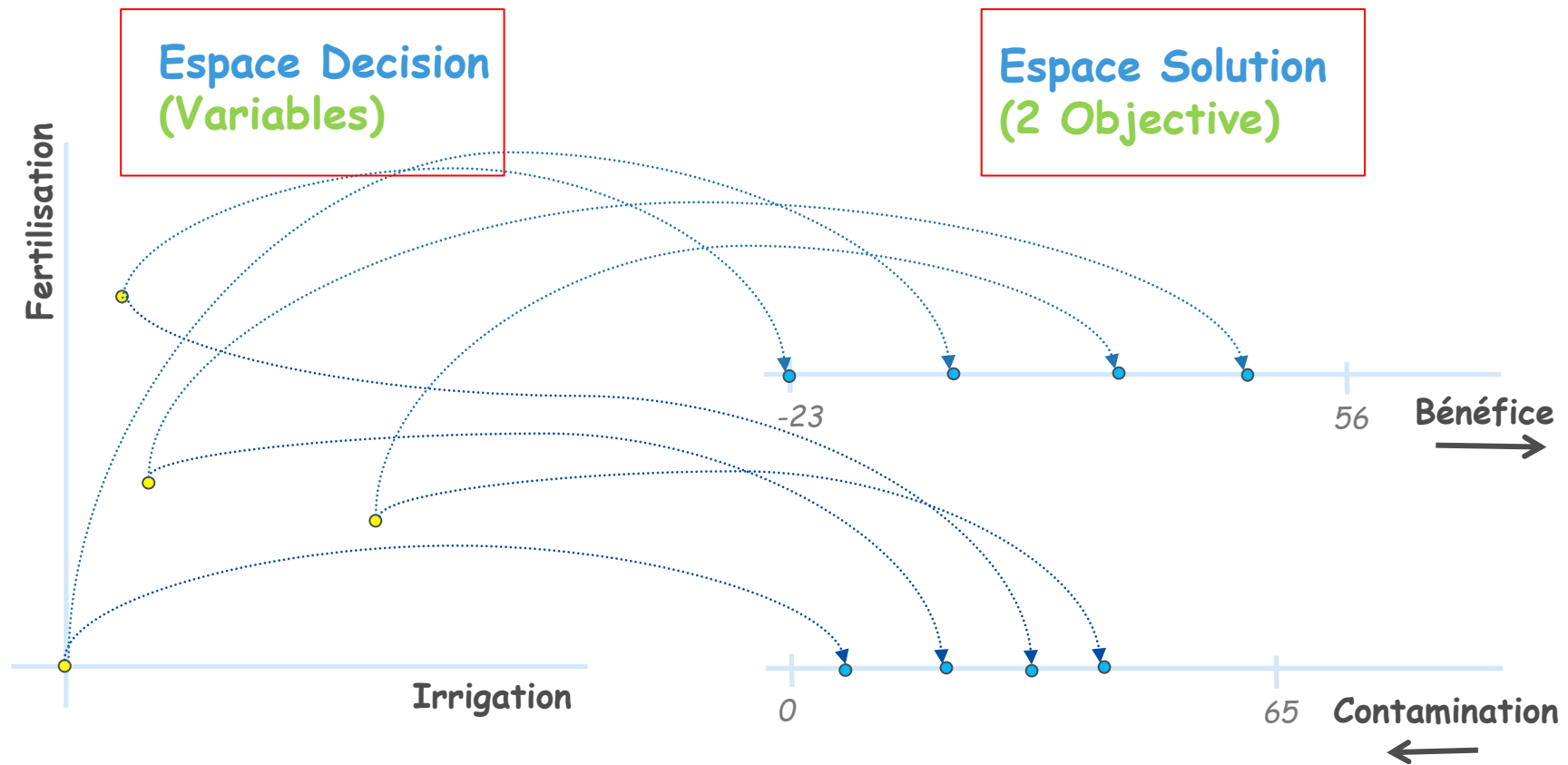
Pour résumer, le modèle d'optimisation consiste en 3 séries d'éléments basiques

- **Une fonction objective:** elle définit la mesure de l'efficacité du système comme une fonction mathématique de variables de décision
- **Variables et paramètres de décision:** les variables de décision sont inconnues, ou à être déterminées par le modèle (nous pouvons connaître la plage de variation). Les paramètres sont connus et relatifs aux variables de 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, implicites ou explicites qui limitent l'intervalle de valeurs possibles des variables de décisions.

E-Nexus - Approche méthodologique

EXEMPLE DE "Optimisation Mono-Objectif"

Objectifs multiples et optimisation



Chaque point (série de mesures) dans l'Espace de décision est une stratégie

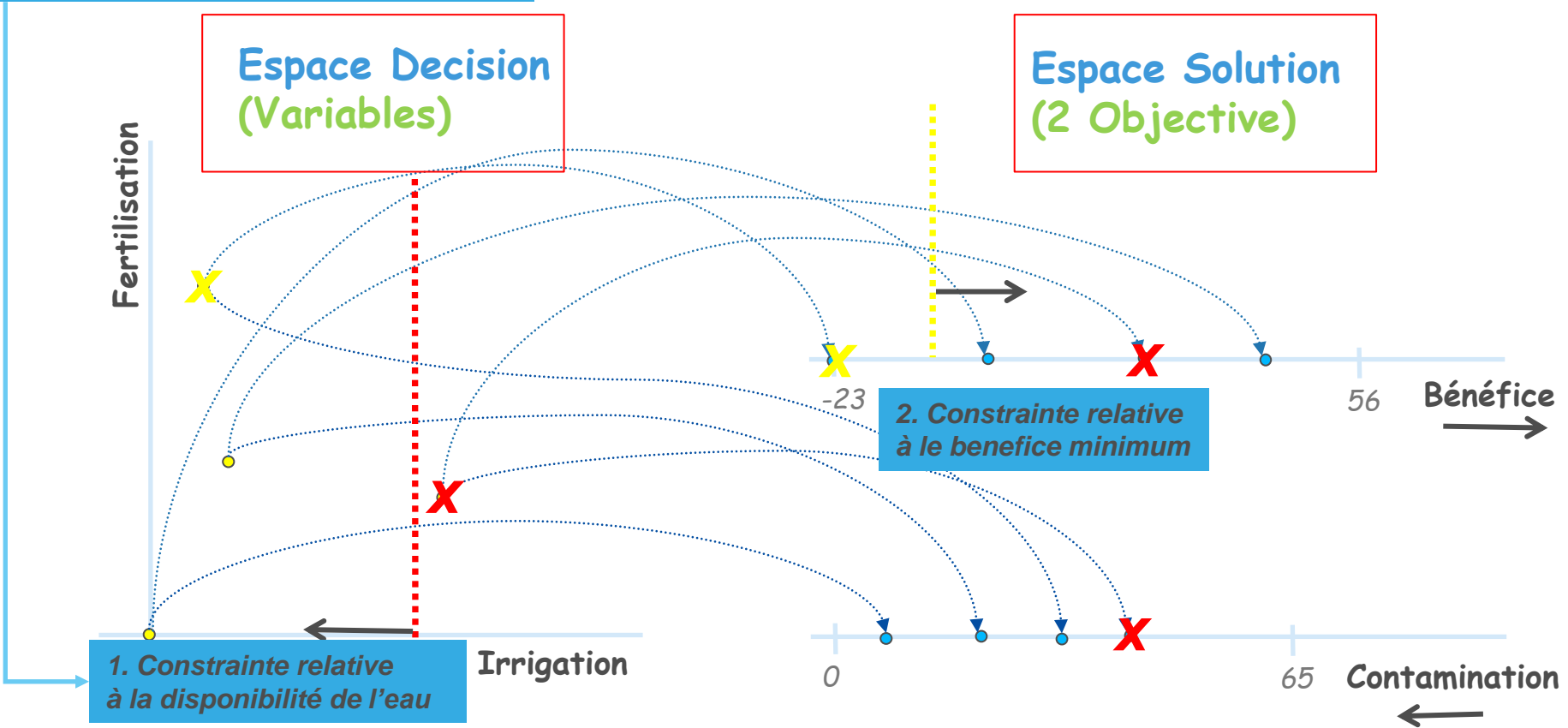
E-Nexus - Approche méthodologique

EXEMPLE DE "Optimisation Mono-Objectif"

Objectifs multiples et optimisation

Ajouter des contraintes

solutions optimales retirées X

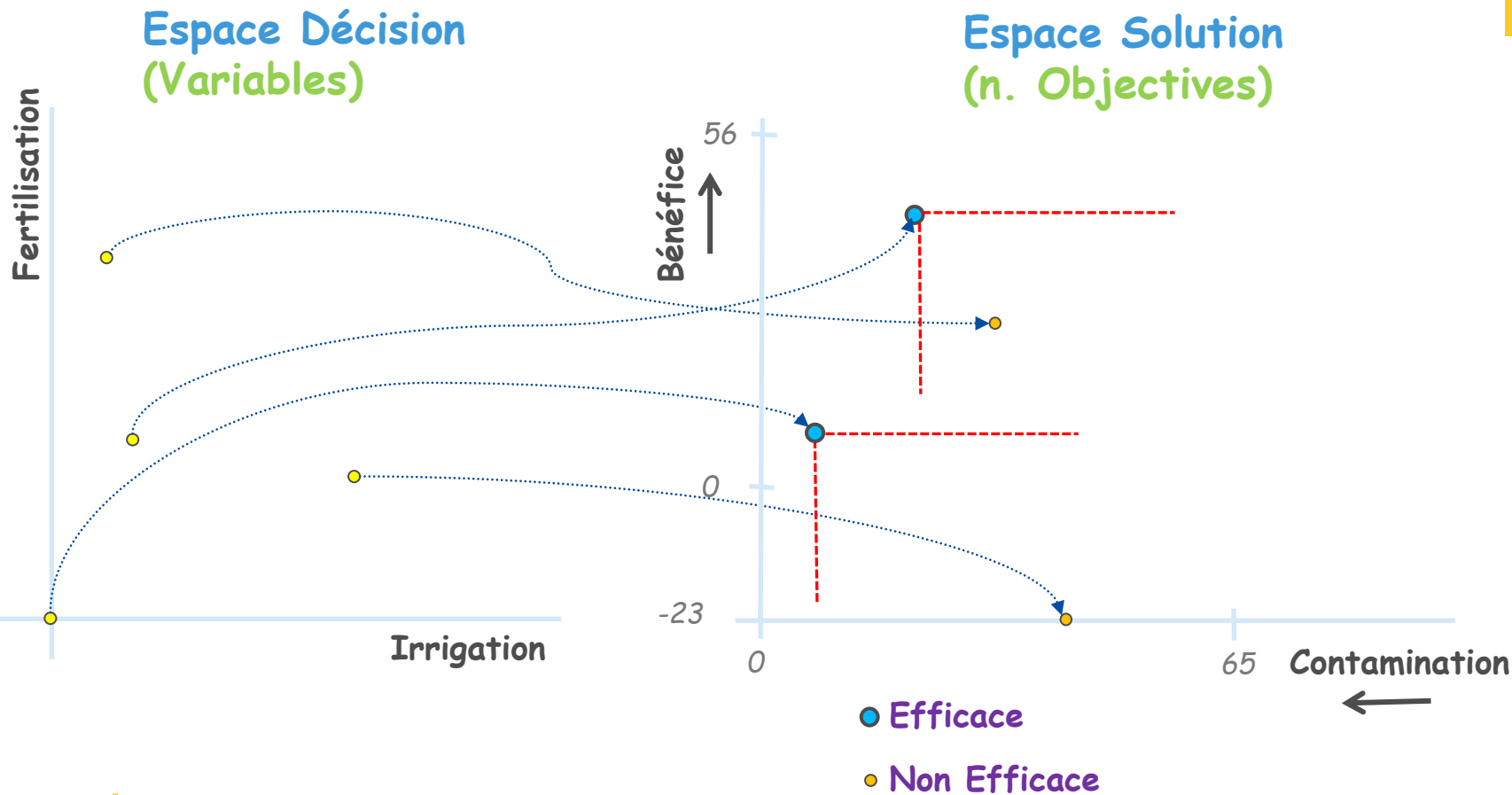


Chaque point (série de mesures) dans l'Espace de décision est une stratégie

E-Nexus - Approche méthodologique

Objectifs multiples et optimisation

EXEMPLE DE "Optimisation Multi-Objectif"



Le concept de Pareto

Une solution optimale MOO est appelée *Optimal PARETO* si aucune autre solution existe qui pourrait réduire des objectifs (dans le cas d'un problème de minimisation) sans causer une augmentation simultanée d'au moins un autre objectif.

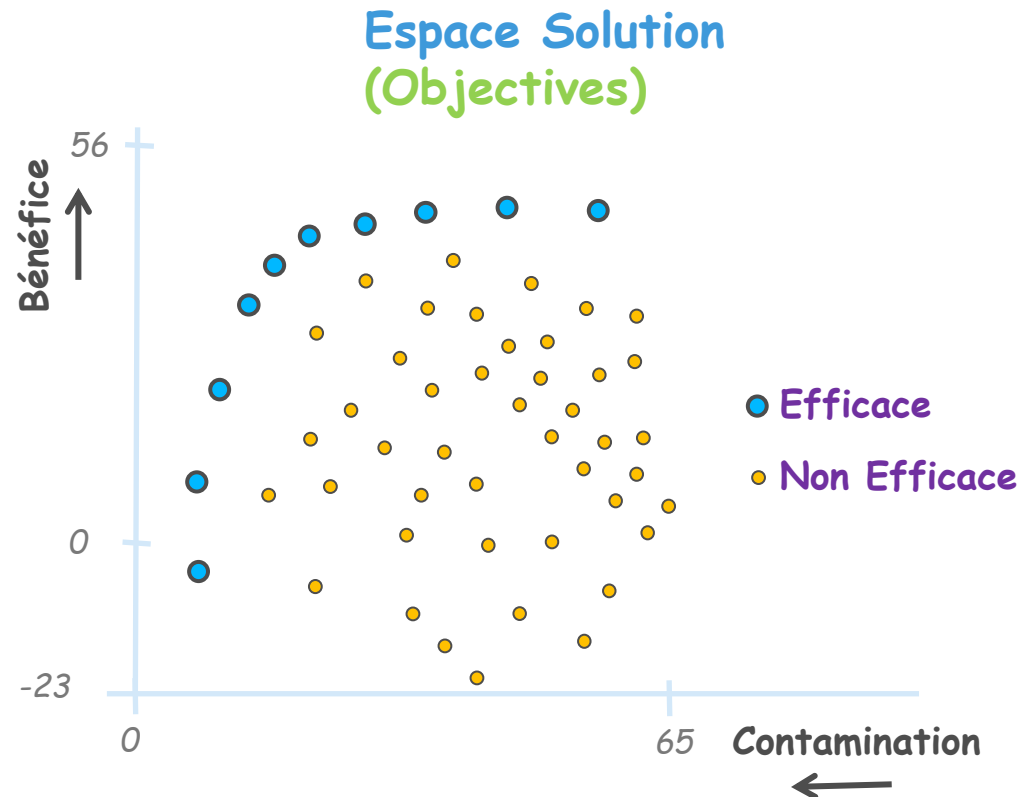
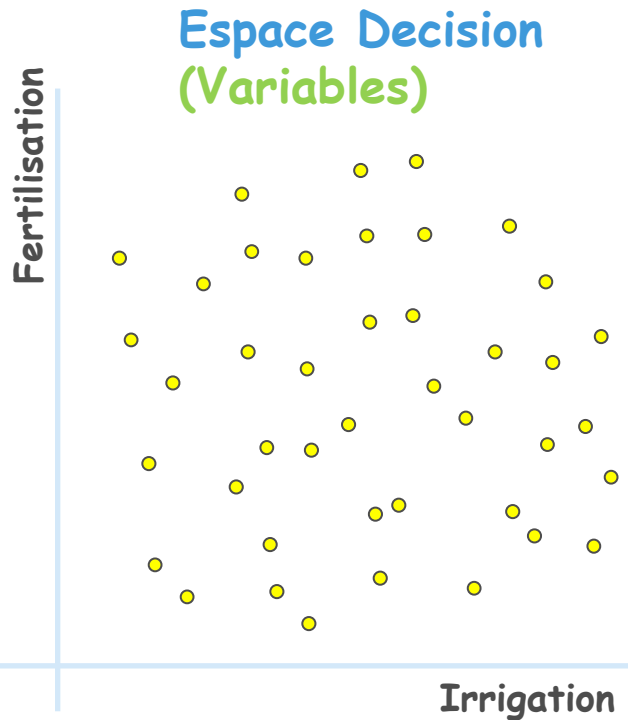
→ obtenir un compromis (= une amélioration implique une détérioration de au moins 1 objectif)

E-Nexus - Approche méthodologique

Le concept de Pareto

Objectifs multiples et optimisation

- 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



2. WEFE Nexus & Optimisation

- eNexus Module Opti-Energie

E-Nexus – Le Module Bioénergie

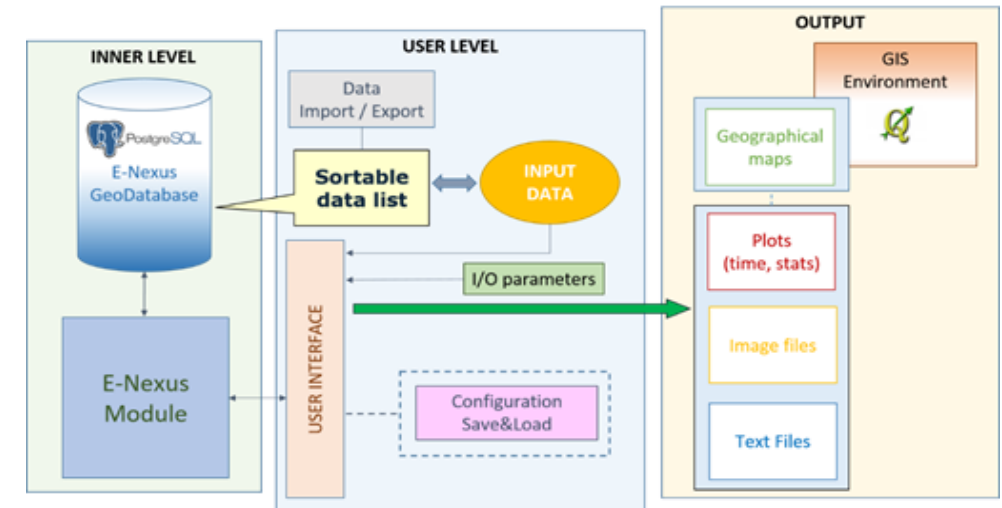
Optimisation et module bioénergétique dans le bassin du fleuve Sénégal

Outil d'optimisation pour l'identification de stratégies bioénergétiques optimales dans le contexte de la sécurité alimentaire

- **Évaluer le potentiel** de la biomasse au niveau administratif pour la production d'électricité
- **Quantifier la disponibilité des quantités de résidus**: sur la base de la puissance minimale et optimale des installations, des besoins de la population, des autres sources d'énergie
- **Identifier des stratégies de gestion alternatives pour l'allocation des terres** cultivées en tenant compte des objectifs multiples et des indicateurs WEFE

Le module Bioénergie

Représentation schématique



Modularity - Flexibilité :
thematic models & MOO

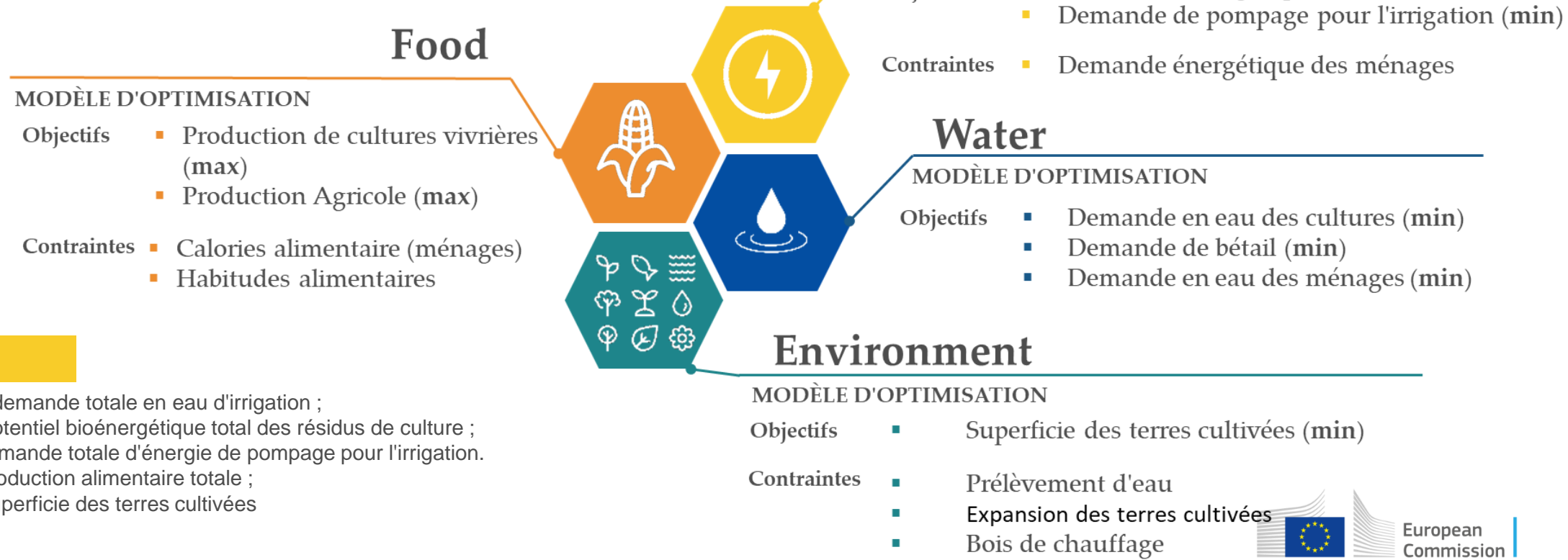
Module bioenergy

E-Nexus – Le Module Bioénergie

Optimisation et module bioénergétique dans le bassin du fleuve Sénégal

L'objectif de la modélisation d'optimisation développé est de déterminer les allocations de terres et d'eau les plus appropriées en optimisant la production de cultures et de bioénergie tout en tenant compte de l'auto-satisfaction alimentaire de la demande régionale locale dans le bassin du fleuve Sénégal.

cette figure schématise les objectifs spécifiques identifiés et les contraintes du modèle.



Cela comprend :

- W (Eau) : Minimiser la demande totale en eau d'irrigation ;
- E (En.): Maximiser le potentiel bioénergétique total des résidus de culture ;
- E (En.): Minimiser la demande totale d'énergie de pompage pour l'irrigation.
- F (Ali) : Maximiser la production alimentaire totale ;
- E (Env): Minimiser la superficie des terres cultivées



E-Nexus – Le Module Bioénergie

Optimisation et module bioénergétique dans le bassin du fleuve Sénégal

OBJECTIFS D'OPTIMISATION

production de bioénergie

$$\text{maximize } \sum_r \sum_c (XR_{rc} * YieldR_{rc} + XI_{rc} * YieldI_{rc}) * EnPot_c$$

$$EnPot_c = RPR_c * RECF_c * LHV_c * EPE_c$$

énergie totale demande d'eau d'irrigation

$$\text{Minimize } \sum_c \sum_r (XI_{rc} * WatReqbyHar_c * PumpEff_r * THead_r * 10^6)$$

Energie



- Bio energy residues (**max**) **Objs**
- Irrigation pumping demand (**min**) **Objs**
- household energy demand **Cons**

Subscripts

r: Region
c: Crop

Variables de décision

XR_{rc} : Surface d'agriculture pluviale pour la culture c dans la région r
 XI_{rc} : Surface d' agriculture irriguée pour la culture c dans la région r

Paramètres

$YieldR_{rc}$: productivité des cultures pluviales [tonnes/ha]
 $YieldI_{rc}$: Productivité des cultures irriguées [tonnes/ha]
 $EnPot_c$: Potentiel énergétique de la culture c
 RPR_c : Facteur pour la production de résidus (rapport résidus / produit spécifique à la culture [g/g])
 $RECF_c$: Facteur pour la disponibilité des résidus
 LHV_c : pouvoir calorifique des résidus de culture [MJ/kg]
 EPE_c : Facteur de conversion de l'efficacité
 $WatReqbyHar_c$: besoin moyen en eau d'irrigation spécifique à la culture c dans la région r [m³/ha/saison de culture]
 $THead_r$: hauteur dynamique (profondeur d'élévation) de l'eau d'irrigation pour la région r [m].
 $PumpEff_r$: efficacité spécifique de la pompe exprimée comme l'énergie nécessaire pour soulever 1 ML (méga litre) d'eau pour 1 m de hauteur de chute

E-Nexus – Le Module Bioénergie

OBJECTIFS D'OPTIMISATION

Potentiel calorique des aliments

$$\text{maximize } \sum_r \sum_c (XR_{rc} * YieldR_{rc} + XI_{rc} * YieldI_{rc}) * Calories_{rc}$$

Alimentation

- Objs**
- Food crop production (max)
- Cons**
- calories de régime
 - Habitudes en matière de régime alimentaire



Subscripts

r: Region
c: Crop

Variables de décision

XR_{rc}: Surface d'agriculture pluviale pour la culture *c* dans la région *r*
XI_{rc}: Surface d'agriculture irriguée pour la culture *c* dans la région *r*

Paramètres

YieldR_{rc}: productivité des cultures pluviales [tonnes/ha]
YieldI_{rc}: Productivité des cultures irriguées [tonnes/ha]
MinProd_{rc}: Demande de production minimal pour la culture *c* dans la région *r* [tons]
Pop_r: Nombre d'habitants dans la région *r* pour l'année 2018
FSQ_Hab_{rc}: Quantité d'approvisionnement en denrées alimentaires spécifiques par habitant pour la culture *c* dans la région *r* [kg/habitant/an]

CONSTRAINTS D'OPTIMISATION

Production minimale de nourriture

$$\sum_c Pop * FSQ_Hab_c \quad \forall c \text{ in } C$$

$$\sum_r (XR_{rc} * YieldR_{rc} + XI_{rc} * YieldI_{rc}) \geq \sum_r MinProd_{rc} \quad \forall c \text{ in } C$$

E-Nexus – Le Module Bioénergie

CONSTRAINTES D'OPTIMISATION

Alimentation

- Objs**
- Food crop production (**max**)
- Cons**
- calories de régime
 - Habitudes en matière de régime alimentaire



Extension des terres cultivées

$$\sum_c (XR_{rc} + XI_{rc}) \leq AreaAvail_r \quad \forall r \text{ in } R$$

$$\sum_c abs(XR_{rc} + XI_{rc}) \leq MaxAreaVar_r \quad \forall r \text{ in } R$$

Subscripts

r: Region
c: Crop

Variables de décision

XR_{rc}: Surface d'agriculture pluviale pour la culture *c* dans la région *r*
XI_{rc}: Surface d' agriculture irriguée pour la culture *c* dans la région *r*

Paramètres

YieldR_{rc}: productivité des cultures pluviales [tonnes/ha]
YieldI_{rc}: Productivité des cultures irriguées [tonnes/ha]
MinProd_{rc}: Demande de production minimal pour la culture *c* dans la région *r* [tons]
Pop_r: Nombre d'habitants dans la région *r* pour l'année 2018
FSQ_Hab_{rc}: Quantité d'approvisionnement en denrées alimentaires spécifiques par habitant pour la culture *c* dans la région *r* [kg/habitant/an]
AreaAvail_r: Superficie totale des terres cultivées disponibles dans la région *r* [ha]

E-Nexus – Le Module Bioénergie

OBJECTIFS D'OPTIMISATION

Demande en eau des cultures

$$\text{Minimize } \sum_c \sum_r (XI_{rc} * WatReqbyHa_{rc})$$

Demande en eau du bétail – à développer

CONSTRAINTS D'OPTIMISATION

Disponibilité de l'eau pour l'irrigation

$$\sum_c (XI_{rc} * WatReqbyHa_{rc}) \leq WaterAvail_r \quad \forall r \text{ in } R$$

limité par l'utilisation actuelle (infrastructures)



Eau

- Demande en eau des cultures (min)
- Demande du bétail (min)
- Demande des ménages (min)

Subscripts

r: Region
c: Crop

Variables de décision

XRrc: Surface d'agriculture pluviale pour la culture *c* dans la région *r*
XIrc: Surface d'agriculture irriguée pour la culture *c* dans la région *r*

Paramètres

WatReqbyHa_c: besoin moyen en eau d'irrigation spécifique à la culture *c* dans la région *r* [m3/ha/saison de culture]
WaterAvail_r: Eau disponible dans la région *r* [m3].

E-Nexus – Le Module Bioénergie

OPTIMIZATION SOLVER / SOLVEUR D'OPTIMISATION

- Pour résoudre le modèle de programmation linéaire Opti-Wefe, nous nous sommes appuyés sur le progiciel **GLPK** (Makhorin, 2012), sous licence **GNU General Public License**.
- Le **solveur d'optimisation** eNexus a été **développé en R** (R Core Team, 2017), et nous avons utilisé le paquet **Rglpk** (Theussl et al.) pour fournir une fonction de solveur de haut niveau basée sur l'interface C de bas niveau du solveur GLPK. Le code est libre et partagé avec eNexus
- Le système permet une analyse à objectif unique ou multiple, le tout finalisé pour soutenir le processus de prise de décision en permettant une analyse prenant en compte de multiples aspects et éléments de l'approche Nexus WEFE.

Thank you

marco.pastori@ext.ec.europa.eu



© European Union 2020

References

- [1] United Nations (UN), 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development [WWW Document]. URL <https://sdgs.un.org/2030agenda> (accessed 12.1.20).
- [2] IRENA, 2020. SCALING UP RENEWABLE ENERGY DEPLOYMENT IN AFRICA. DETAILED OVERVIEW OF IRENA'S ENGAGEMENT AND IMPACT.
- [3] Gnansounou, E., Pachón, E.R., Sinsin, B., Teka, O., Togbé, E., Mahamane, A., 2020. Using agricultural residues for sustainable transportation biofuels in 2050: Case of West Africa. *Bioresour. Technol.* 305, 123080. doi:10.1016/j.biortech.2020.123080
- [4] Kemausuor, F., Kamp, A., Thomsen, S.T., Bensah, E.C., Stergård, H., 2014. Assessment of biomass residue availability and bioenergy yields in Ghana. *Resour. Conserv. Recycl.* 86, 28–37. doi:10.1016/j.resconrec.2014.01.007
- [5] Sánchez, A.S., Torres, E.A., Kalid, R.A. (2015). Renewable energy generation for the rural electrification of isolated communities in the Amazon Region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49: 278–290
- [6] Hansen, M.C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* (80-.). 342, 850–853. doi:10.1126/science.1244693
- [7] IEA (International Energy Agency), 2010. Sustainable Production of Second-Generation Biofuels. Paris.
- [8] Bazmi, A.A., Zahedi, G., Hashim, H., 2015. Design of decentralized biopower generation and distribution system for developing countries. *J. Clean. Prod.* 86, 209–220. doi:10.1016/j.jclepro.2014.08.084
- [9] Cutz, L., Haro, P., Santana, D., Johnsson, F., 2016. Assessment of biomass energy sources and technologies: The case of Central America. *Renew. Sustain. Energy Rev.* doi:10.1016/j.rser.2015.12.322
- [10] Rosillo-Calle, F., de Groot, P., Hemstock, S., Wood, J., 2015. *The Biomass Assessment Handbook: Energy for a sustainable environment*. Routledge, London, UK. doi:<https://doi.org/10.4324/9781315723273>
- [11] Ullah, K., Kumar Sharma, V., Dhingra, S., Braccio, G., Ahmad, M., Sofia, S., 2015. Assessing the lignocellulosic biomass resources potential in developing countries: A critical review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* doi:10.1016/j.rser.2015.06.044
- [12] WHO, 2016. Household air pollution and the sustainable development goals. *Bull. World Health Organ.* 94, 215–221. doi:<https://dx.doi.org/10.2471/BLT.15.155812>
- [13] Gómez, A., Rodrigues, M., Montañés, C., Dopazo, C., Fueyo, N., 2010. The potential for electricity generation from crop and forestry residues in Spain. *Biomass and Bioenergy* 34, 703–719. doi:10.1016/j.biombioe.2010.01.013
- [14] Shafie, S.M., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Ahmad-Yazid, A., 2012. A review on electricity generation based on biomass residue in Malaysia. *Renew. Sustain. Energy Rev.* doi:10.1016/j.rser.2012.06.031
- [15] Jimenez, O., Curbelo, A., Suarez, Y., 2012. Biomass based gasifier for providing electricity and thermal energy to off-grid locations in Cuba. Conceptual design. *Energy Sustain. Dev.* 16, 98–102. doi:10.1016/j.esd.2011.12.003

References

- [16] RHC Platform, AA.VV., 2014. Biomass Technology Roadmap European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling. Secretariat of the RHC-Platform (Biomass Panel), Brussels.
- [17] Pol Arranz, P., 2018. Prospects of distributed electricity generation and services based on small scale biomass systems in ghana 1.
- [18] Makhorin, A., 2012. GNU linear programming kit. <https://www.gnu.org/software/glpk>.