



Utilisation d'un modèle hydrologique afin d'évaluer les impacts des aménagements sur la ressource en eau du bassin de Soarano – Région de Fianarantsoa – Madagascar

Travail de stage de Master 2 de Saba Daeichin sous la supervision de Marie Nourtier (Nitidæ)

Dans le cadre du projet Kolorano (Agrisud International et Nitidæ)

Novembre 2020



Nitidæ
filiales & territoires

GRANDLYON
la métropole





Contexte du projet

Amélioration de la ressource en eau en parallèle d'un projet d'adduction en eau potable.

Réaliser des plantations d'espèces exotiques (Eucalyptus, Pins, Acacias)

L'impact potentiel de ces plantations sur les processus hydrologiques dans le futur (après l'arrêt du projet)



Problématique

- Quels sont les impacts de plantations de différentes espèces d'arbres exotiques sur la ressource en eau ?
- Est-ce que l'augmentation de la transpiration est compensée par l'augmentation de l'infiltration ou non ?
- Quelles seraient les espèces à favoriser ?

Plan de Projet

Bassin
versant de
Soarano

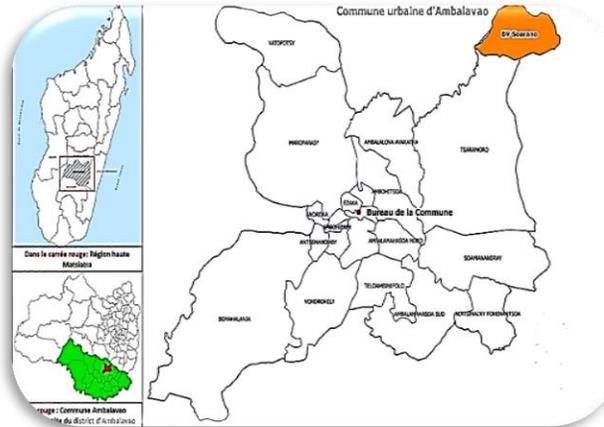
Période de
simulation:
10 ans
(2010-2019)

Scénarios de
conversion de
la savane en
plantations
d'arbres

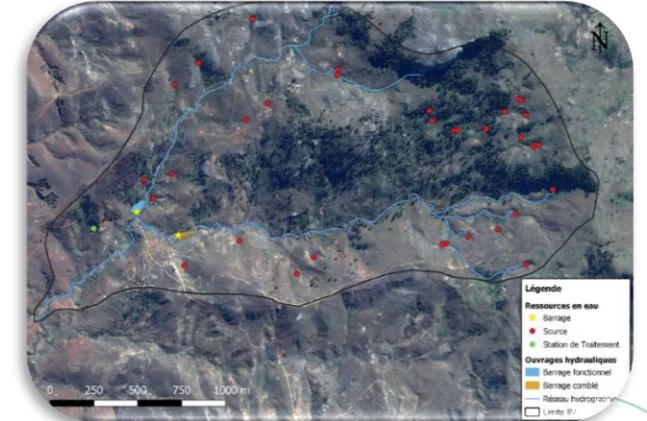


ZONE D'ÉTUDE: Soarano

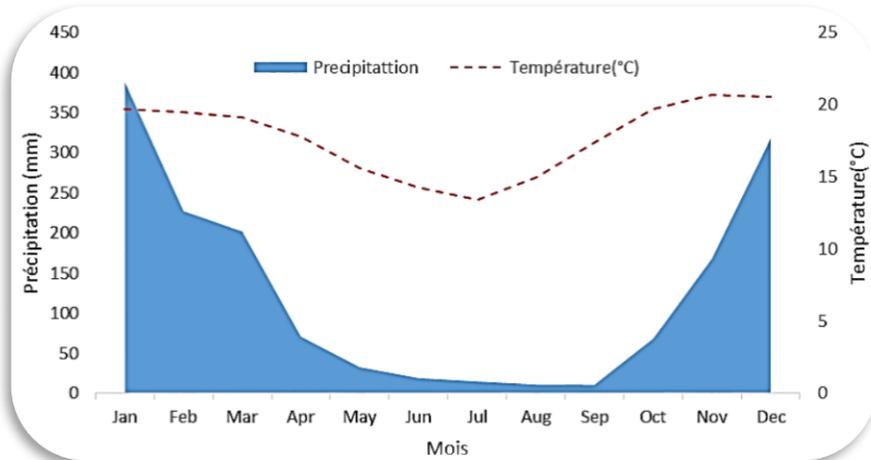
- **Surface:** 390 ha
- **Climat:** humide subtropical
- **Type du sol:** Ferralitique
- **Couvert végétal:** Savane et Rizières
- **Forêt anthropique:** Pins et Eucalyptus



Localisation du bassin versant de Soarano

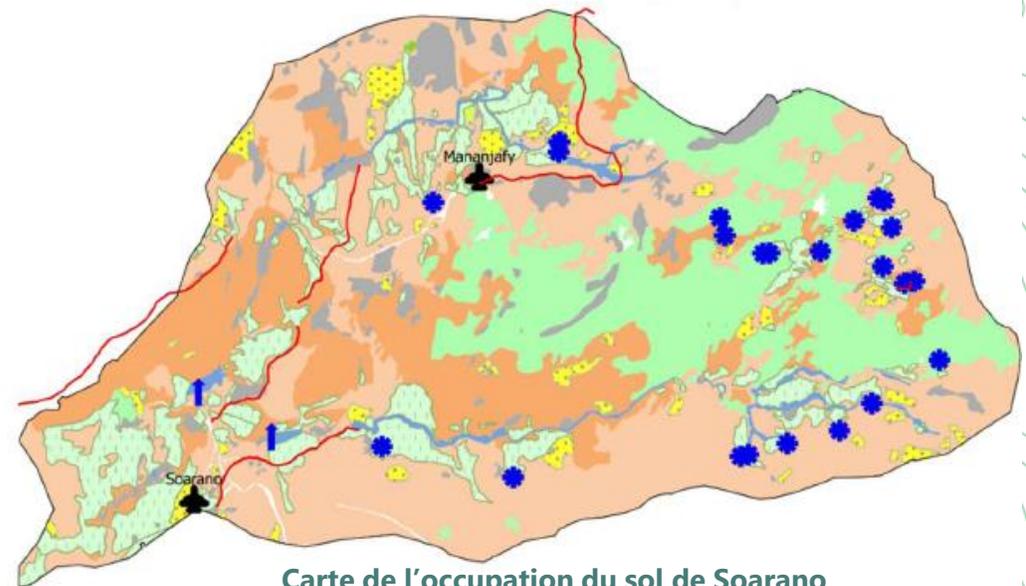


Vue d'ensemble du bassin versant de Soarano



Distribution mensuelle des précipitations et des températures

- Légende
- Limite du Bassin ve
 - Forêt anthropiques
 - Parcelle agroforest
 - Savane avec arbust
 - Savane herbeuse
 - Culture pluviale
 - Culture irriguée de
 - Plan d'eau
 - Sols nus, Rocher
 - ▲ Villages
 - Barrages
 - Sources non captée
 - Canaux d'irrigation

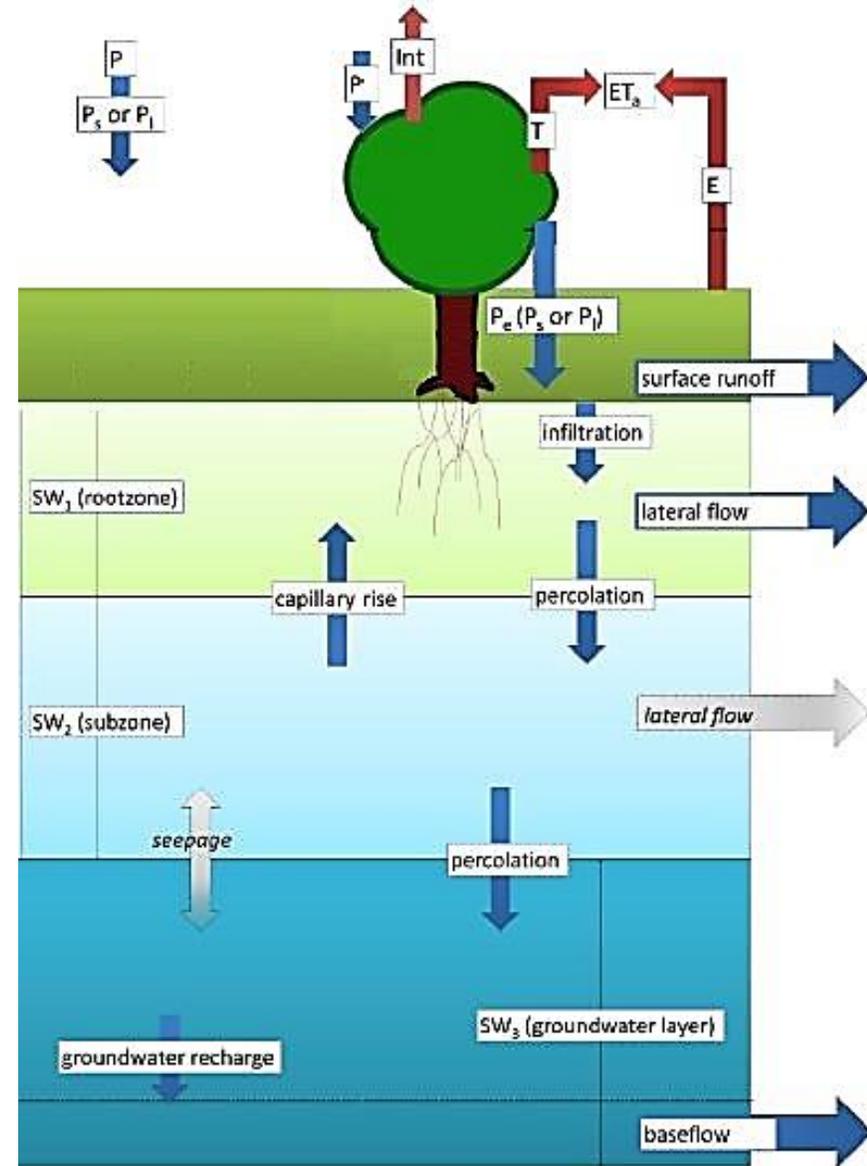


Carte de l'occupation du sol de Soarano

SPHY

(Spatial Processes in Hydrology model)

- ❑ un modèle spatialement distribué.
- ❑ Intégration des processus hydrologiques du bassin versant et les caractéristiques de la végétation afin d'étudier les impacts des changements d'occupation du sol sur les composantes du bilan hydrique
- ❑ Madagascar et Régions tropicales

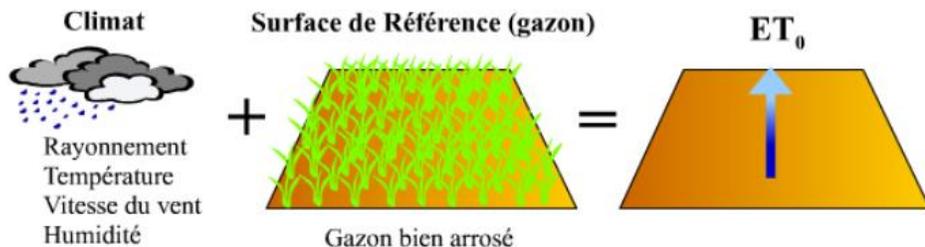


Données d'entrée utilisées dans le modèle SPHY

Donnée	Description
MNT	Modèle numérique de terrain
Données météorologiques	Temperature(max, min, moyen), Précipitation et Évapotranspiration reference
Propriétés physique du sol	Capacité au champ, Teneur en eau saturée, Point de flétrissement, Point de flétrissement permanent et Conductivité hydraulique saturée
Profondeur des racines	Le profondeur principale de racine
Carte d'occupation du sol	Foret naturelle, Foret anthropique(eucalyptus, Acacia et pin), Parcelle agroforestière, Savane herbeuse et arbuste, Culture irrigué(rizière), culture pluvial, Marécage-zone humide, Zone habitation, village, Sol nuls, Rocher
Coefficient cultural(kc)	Coefficient utilisé pour calculer l'évapotranspiration potentielle en méthode de FAO

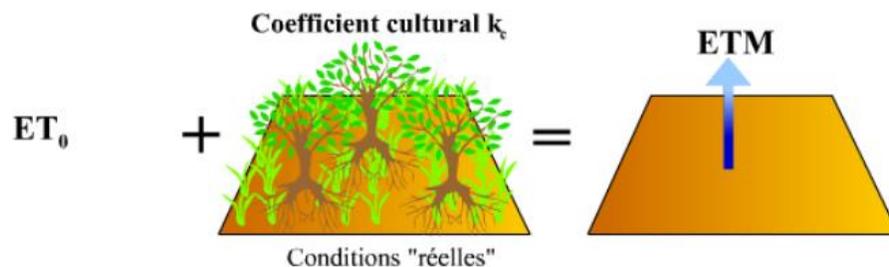
Coefficient cultural: Kc

Penman-Monteith



$$ET_0 = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

la méthode FAO



$$ETM = K_c ET_0$$

Coefficient cultural: Kc

Liste des coefficients de culture (Kc) et de la profondeur des racines (mm)

Occupation du sol	Kc	Profondeur des racines (mm)
Forêt naturelle	0.86	700
Eucalyptus	1.05	1200
Acacia	1.185	800
Pine	1	700
Parcelle agroforestiere	1.1	900
Savane avec arbustes ou arbres	0.875	800
Savane herbeuse	0.7	230
Culture irrigue	1.2	500
culture pluvial	1.152	670
Marecage-zone humide	1.05	0
Zone habitation, village	0	0
Sols nus, Rochers	0	0
Citrus	0.7	1100

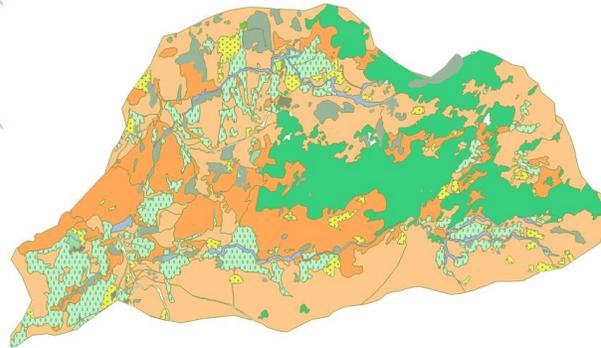
Eucalyptus
et Acacia

Précipitation \geq
 ETM
 $ETa = ETM$

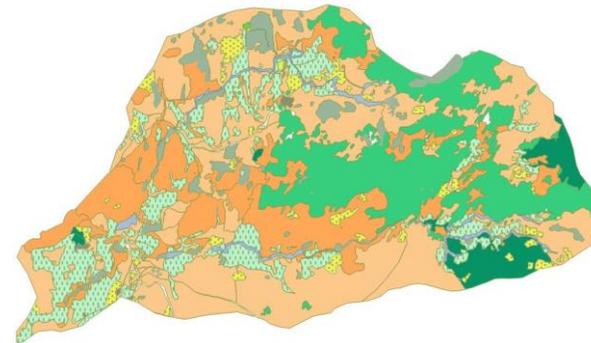
$ETa = K_c ET0$

Définition des scénarios d'occupation du sol

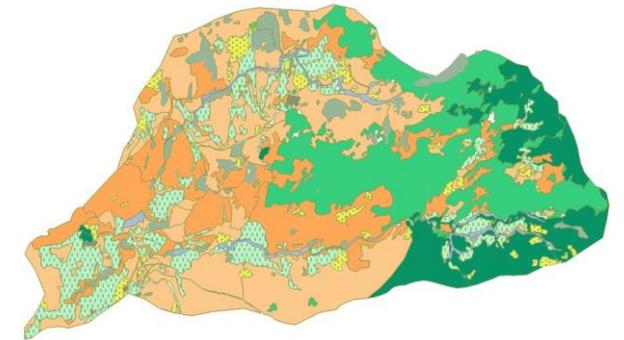
- Forêt naturelle
- Eucalyptus
- Pine
- Acacia
- Parcelle agroforestiere
- Savane avec arbustes ou arbres
- Savane herbeuse
- Culture pluviale
- Culture irriguee de bas fond
- Marcages / Zone humides
- Sols nus, Rocher
- Zone habitation village



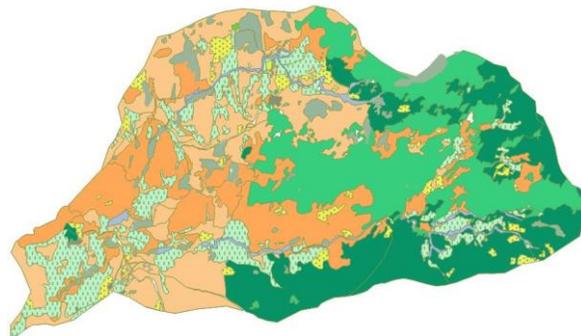
Baseline



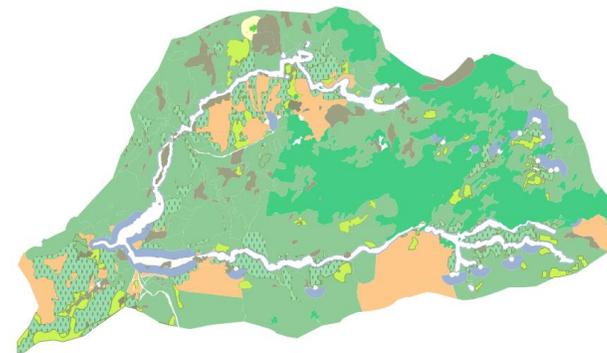
10% Plantation des arbres



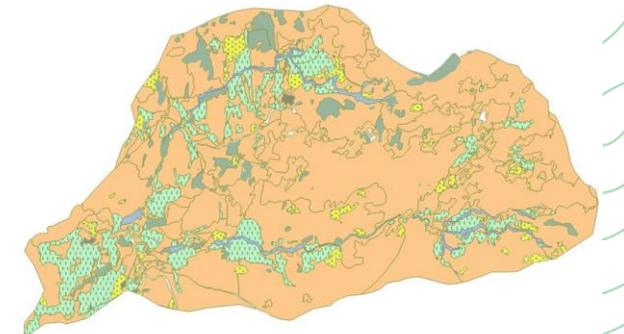
30% Plantation des arbres



50% Plantation des arbres



Future projection



Savanisation complète

Superficie de chaque occupation du sol pour les différents scénarios (en ha)

Type d'occupation du sol	occupation du sol initiale (carte de 2016)	Scenarios				
		10% de plantations	30% de plantations	50% de plantations	future projection	savanisation
Plantations existant initialement						
Eucalyptus	0.79	0.79	0.79	0.79	225.9	0
Pin	74.3	74.3	74.3	74.3	74.3	0
Caféier	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0
Autres occupations du sol						
Rizière	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8	48.8
Culture pluviale	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4
Savane herbeuse	157	157	157	157	0	300.8
Savane arbuste	68.6	68.6	68.6	68.6	0	0
Marécage	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
Zone habitation	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Sol nu	20	20	20	20	20	20
Surface plantée dans les différents scénarios		15.7	47.1	78.5		



RÉSULTATS

Bilan hydrique de la première couche du sol (SW1)

$$SW_1 = P - ET_a - RR_0 - Perc_1$$

SW_1 (mm) la teneur en eau dans la première couche de sol,

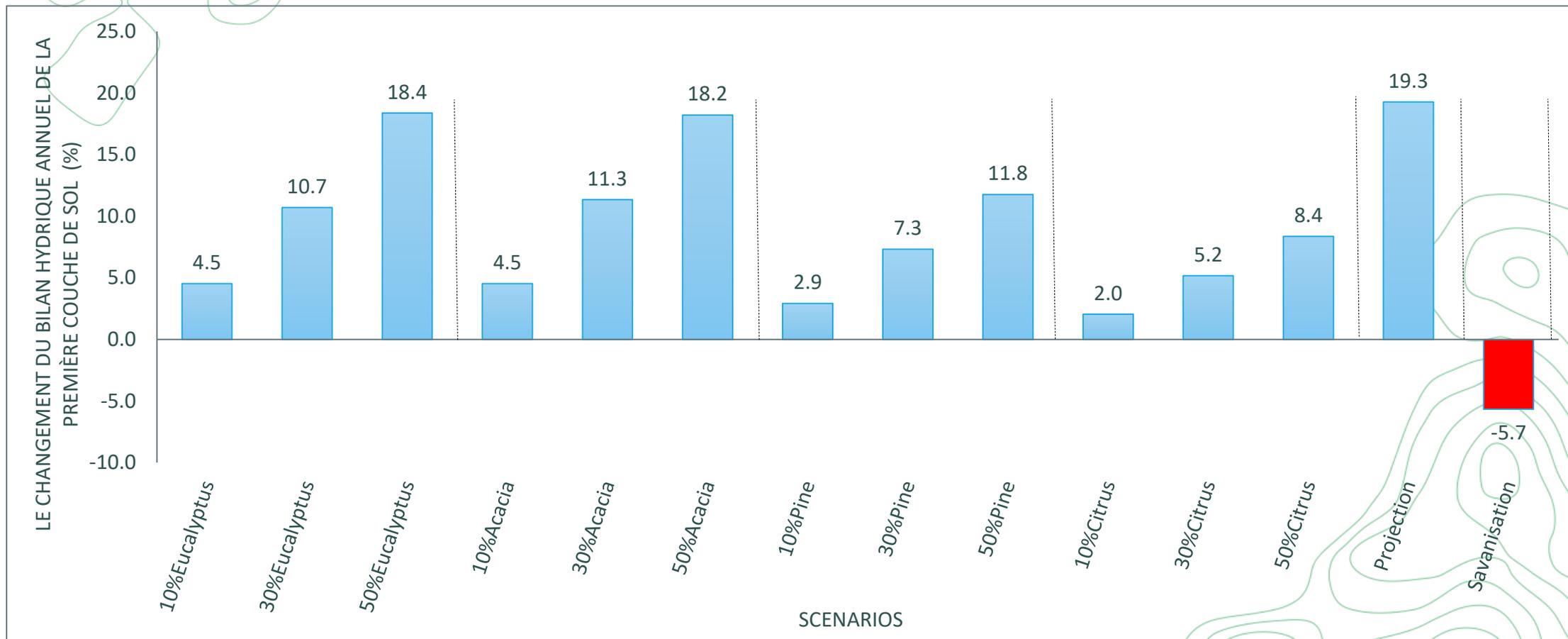
P (mm) la précipitation,

ET_a (mm) l'évapotranspiration réelle,

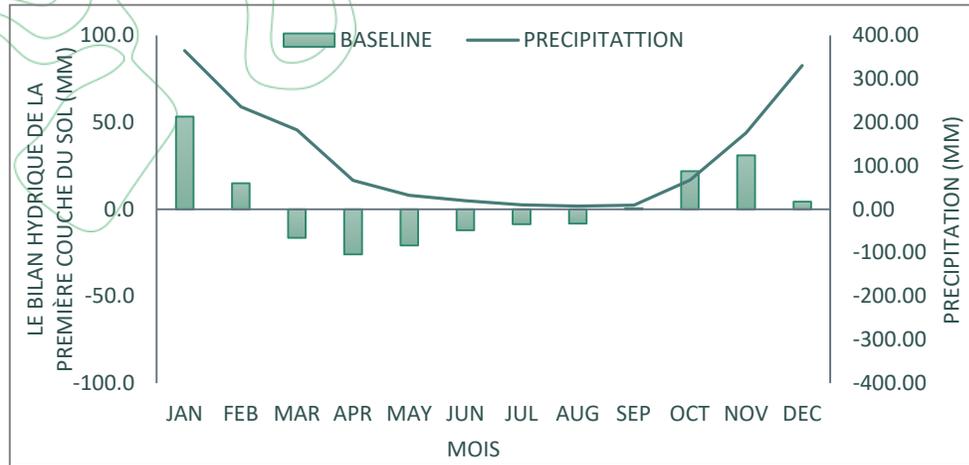
RR_0 (mm) le ruissellement des précipitations,

$Perc_1$ (mm) la percolation de la première à la deuxième couche de sol

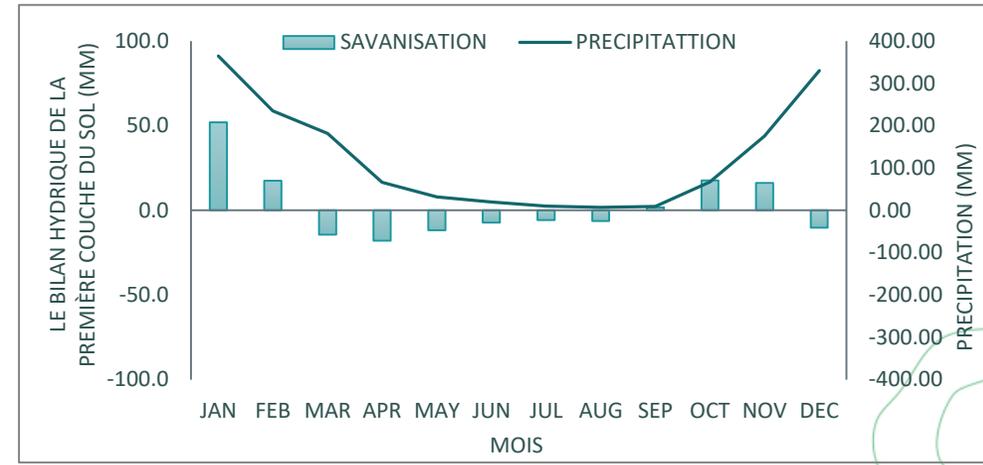
Changement du bilan hydrique annuel de la première couche de sol par rapport à la situation de référence (carte de 2016 – changement en %)



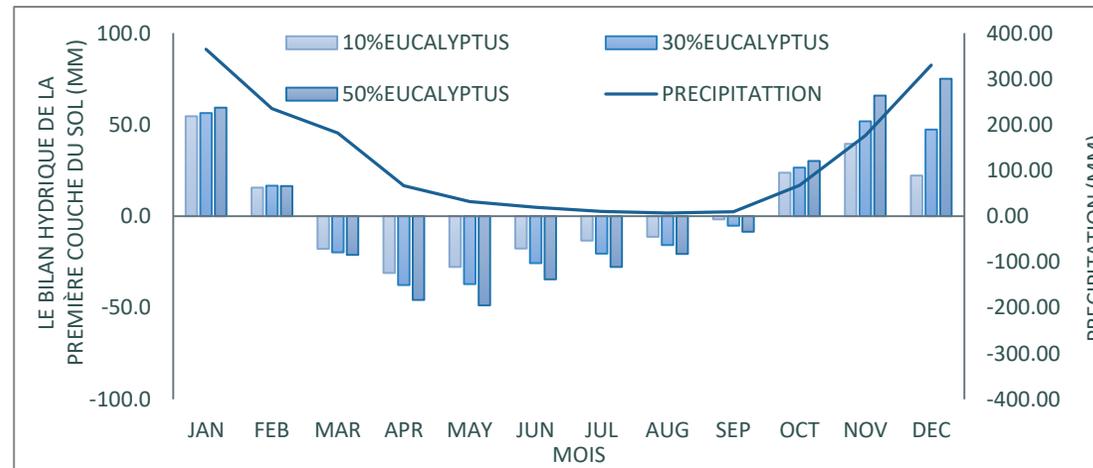
Moyenne mensuelle du bilan hydrique de la première couche du sol (mm)



Scenario de reference



Scenario de Savanisation



Scenario d'Eucalyptus

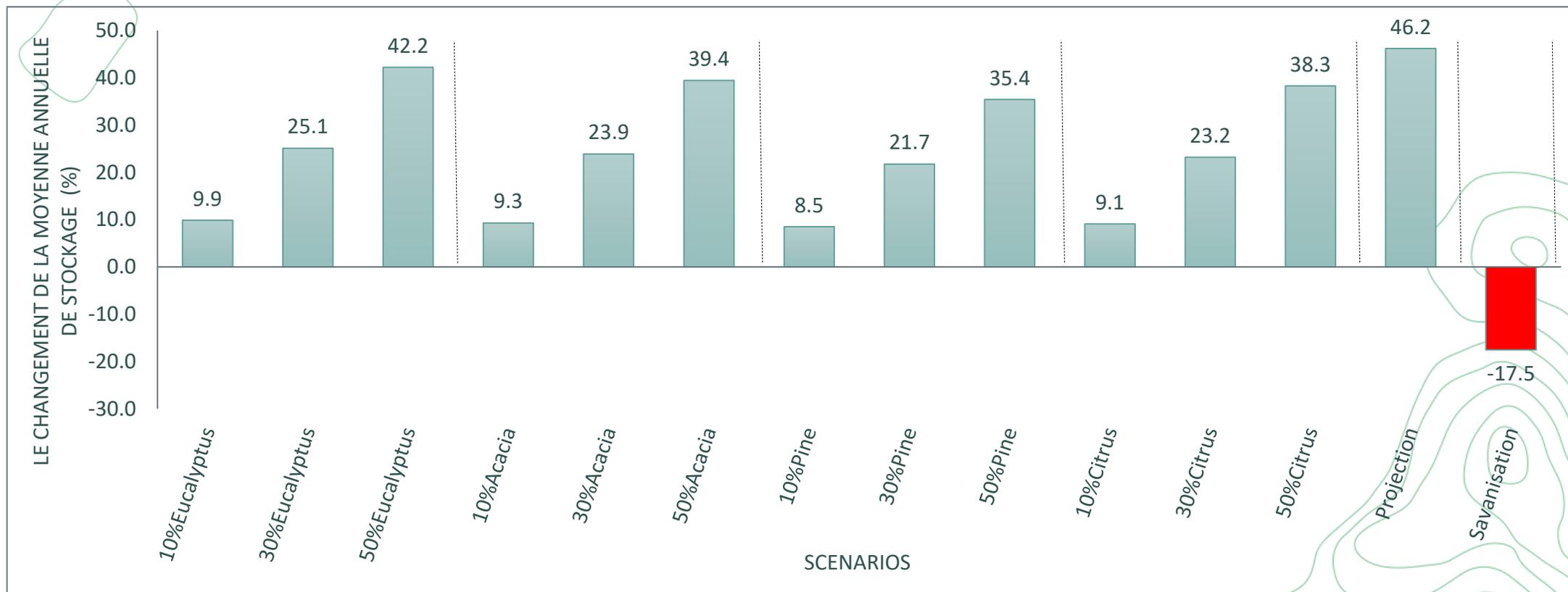


Changement du stockage d'eau (ΔS)

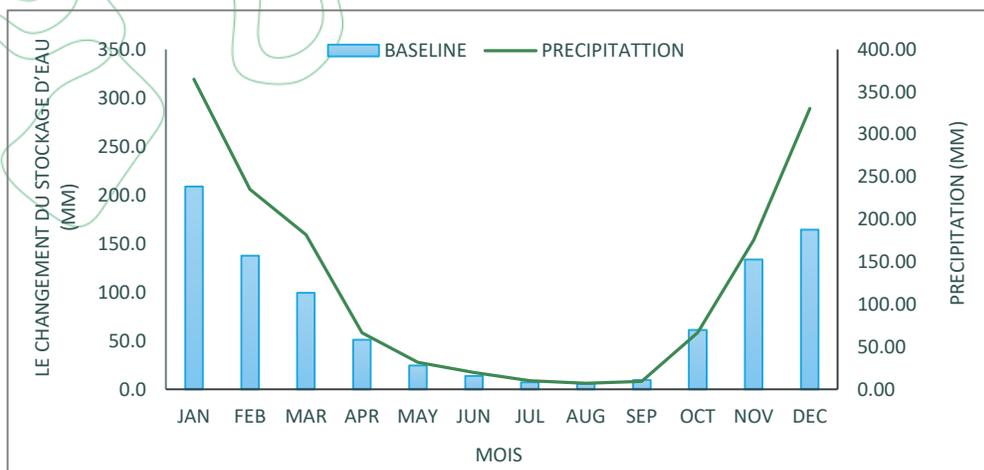
$$\Delta S = P - ET_a - RR_0$$

ΔS (mm) le changement de stockage,
P (mm) la précipitation,
 ET_a (mm) l'évapotranspiration réelle,
 RR_0 (mm) le ruissellement des
précipitations

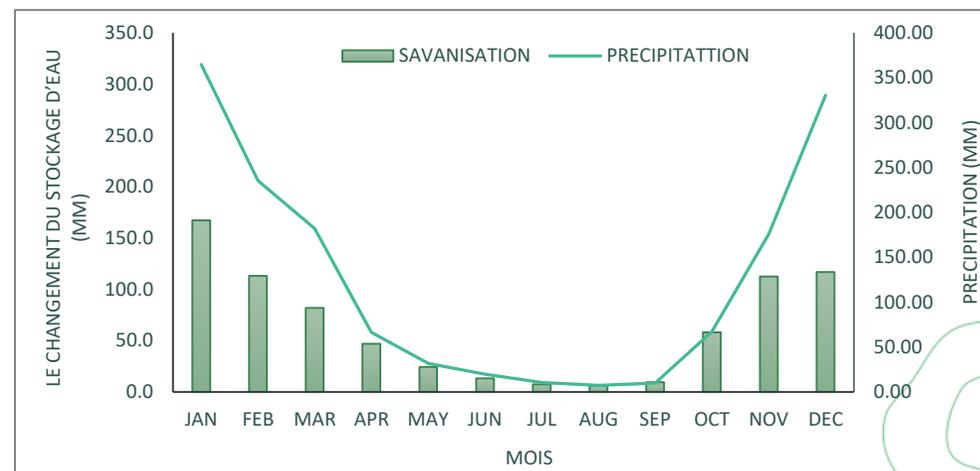
Changement de la moyenne annuelle de stockage par rapport à la situation de référence (en %)



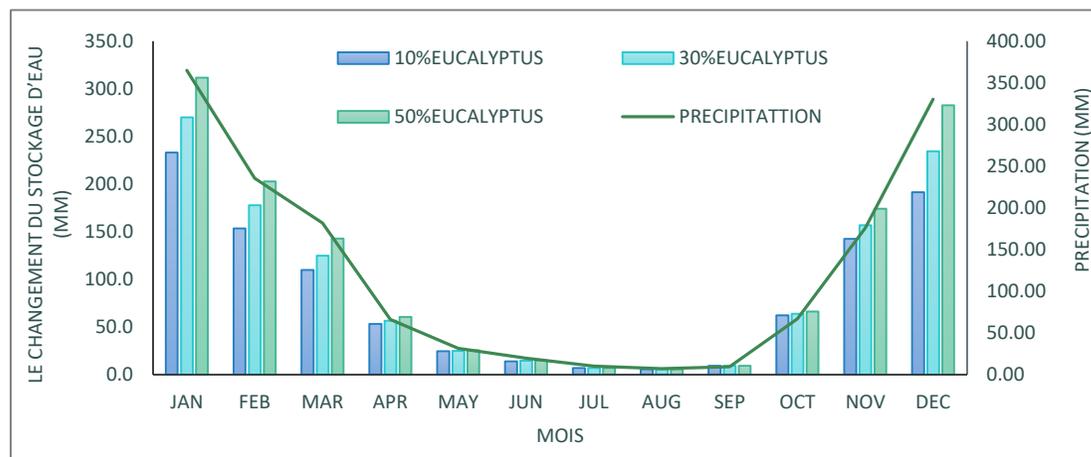
Moyenne mensuelle du changement du stockage d'eau (mm)



Scenario de reference



Scenario de Savanisation



Scenario d'Eucalyptus

Débit à l'exutoire (Q_{rout})

Q_{Tot} (mm) le ruissellement total,

RR_o (mm) le ruissellement des précipitations,

BF (mm) le débit de base,

Q_{Tot_t*} (m³/s) le ruissellement spécifique le jour *t*,

Q_{Tot_t} (mm) le ruissellement spécifique le jour *t*,

A (m²) la surface de la cellule de la grille,

Q_{accu,t} (m³/s) le débit cumulé du cours d'eau le jour *t*
sans prise en compte du retard d'écoulement,

Q_{rout,t} (m³/s) le débit acheminé le jour *t*,

Q_{rout,t-1} (m³/s) le débit à l'exutoire au jour *t* - 1,

F_{dir} le réseau de direction du débit,

k_x (-) le coefficient de récession du débit

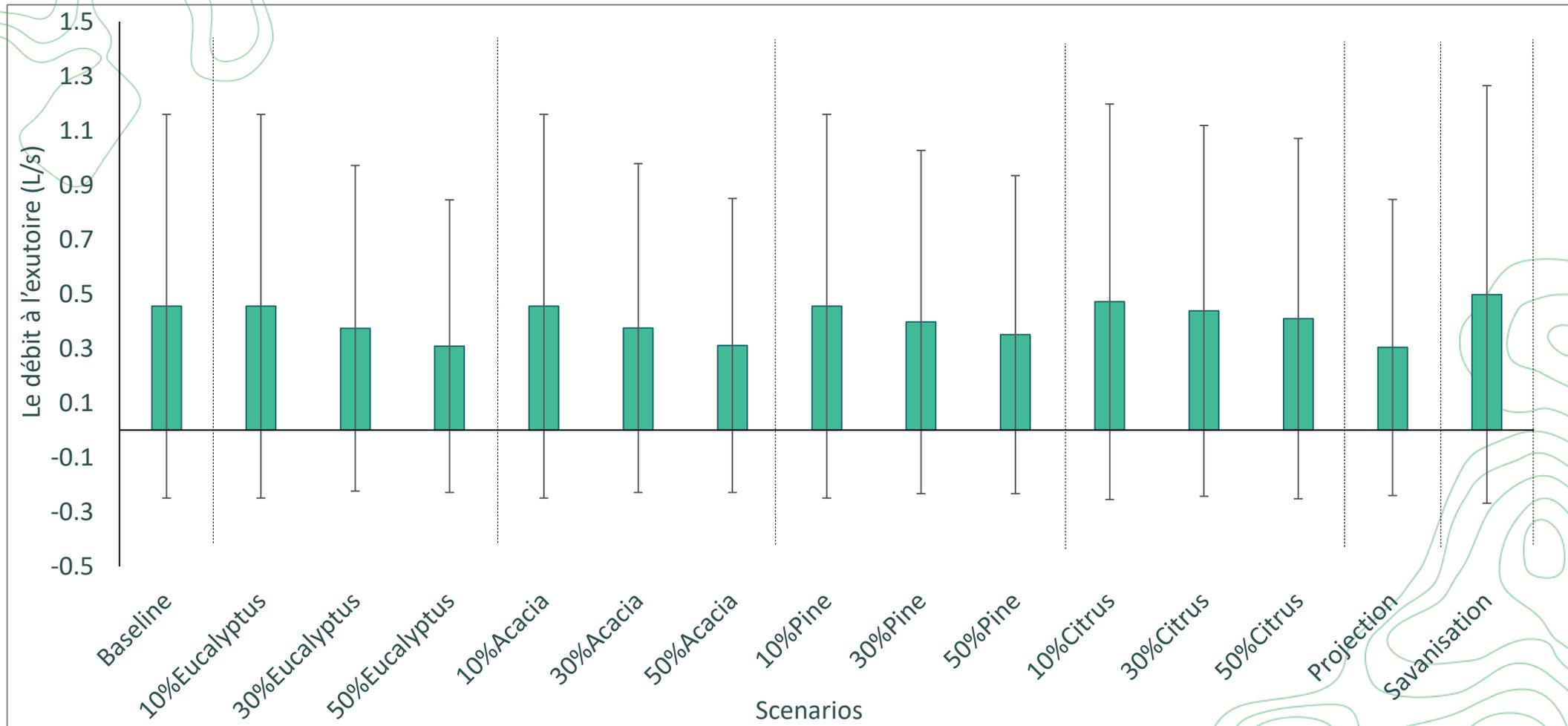
$$Q_{Tot} = RR_o + BF$$

$$Q_{Tot_t^*} = \frac{Q_{Tot_t} \cdot A}{24 \cdot 3600}$$

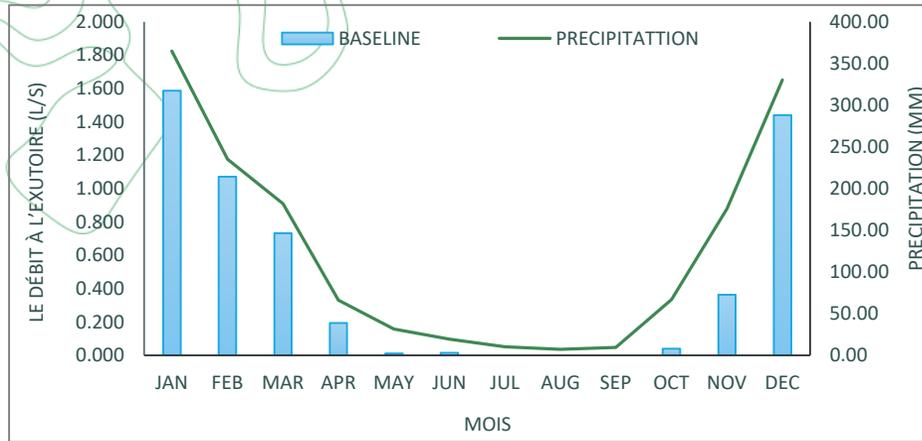
$$Q_{accu,t} = \text{accuflux}(F_{dir}, Q_{Tot_t^*})$$

$$Q_{rout,t} = (1 - k_x) \cdot Q_{accu,t} + k_x \cdot Q_{rout,t-1}$$

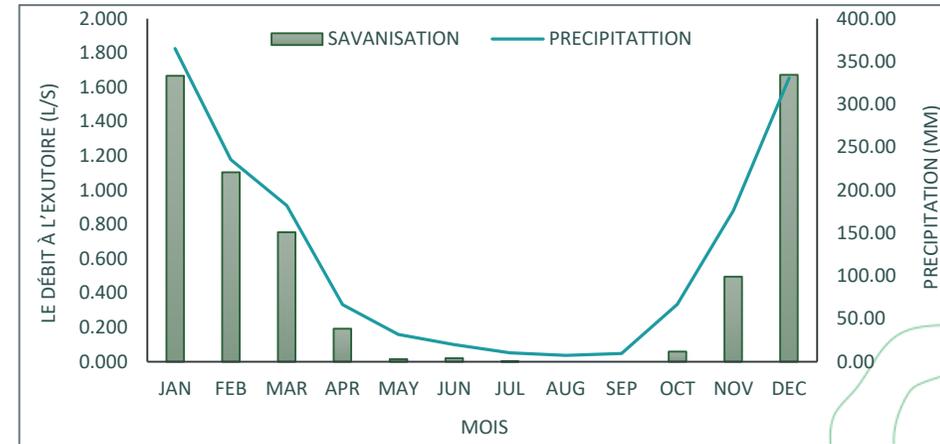
Moyenne annuelle du débit à l'exutoire (L/s)



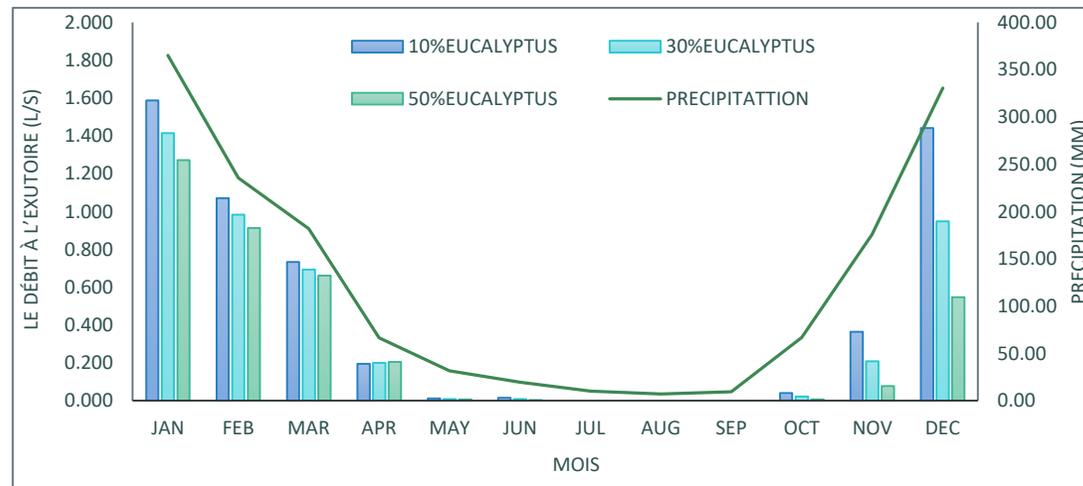
Moyenne mensuelle du débit à l'exutoire (L/s)



Scenario de reference



Scenario de Savanisation



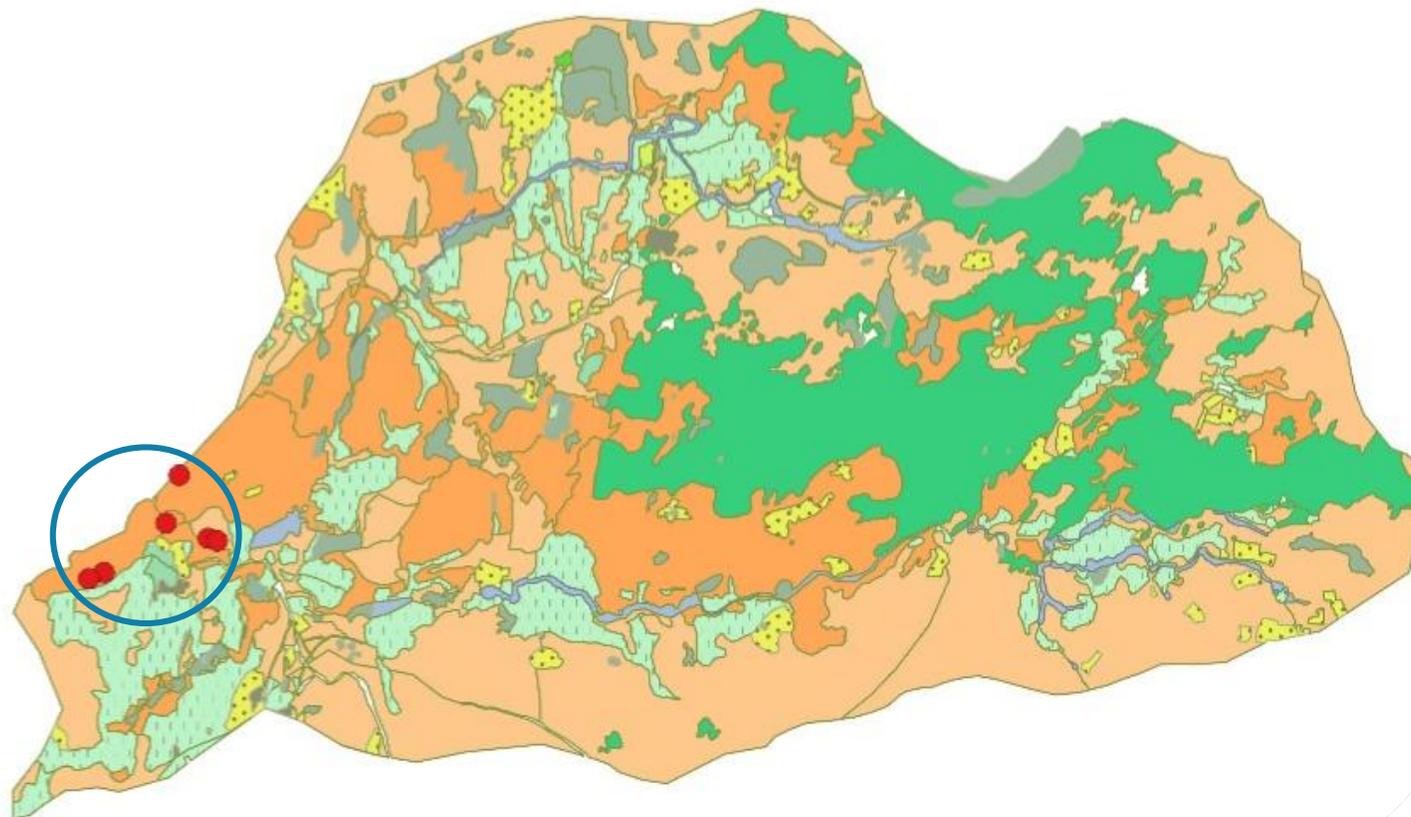
Scenario d'Eucalyptus

Données observées : ruissellement

● stations

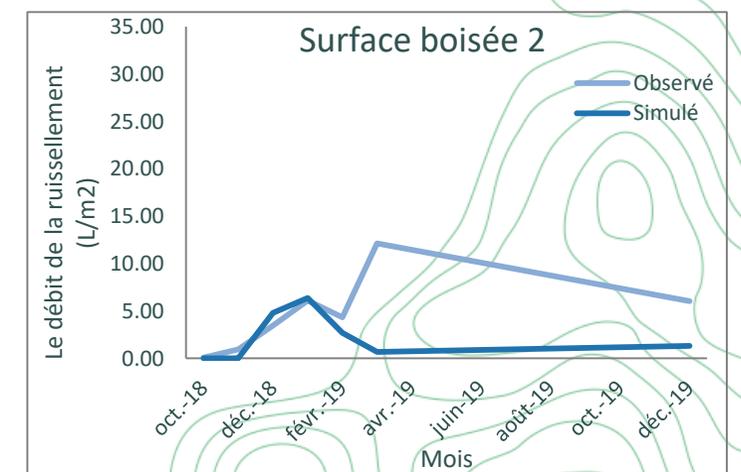
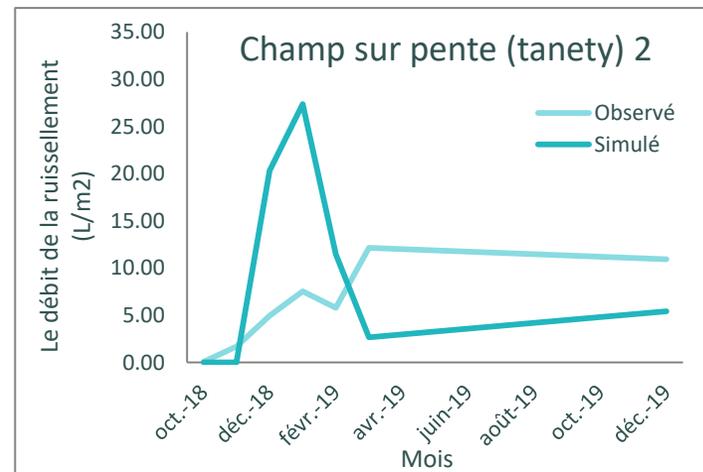
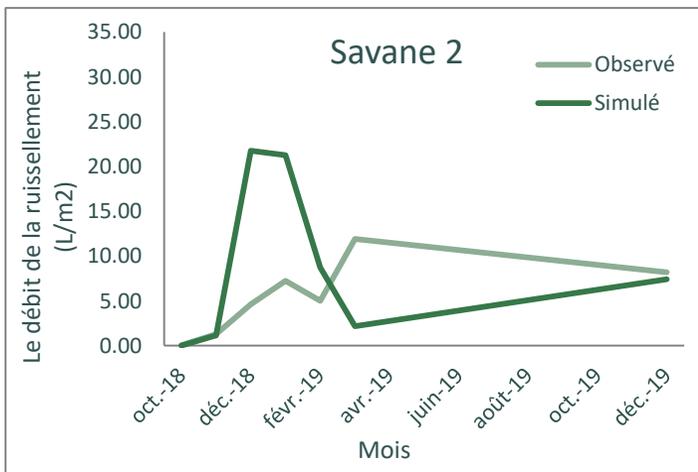
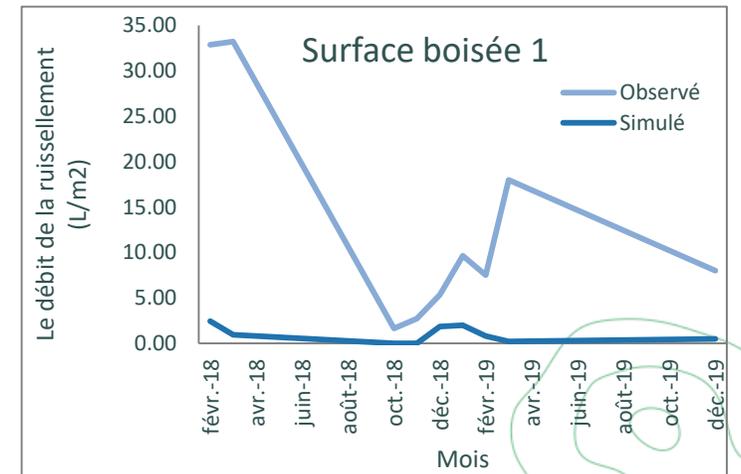
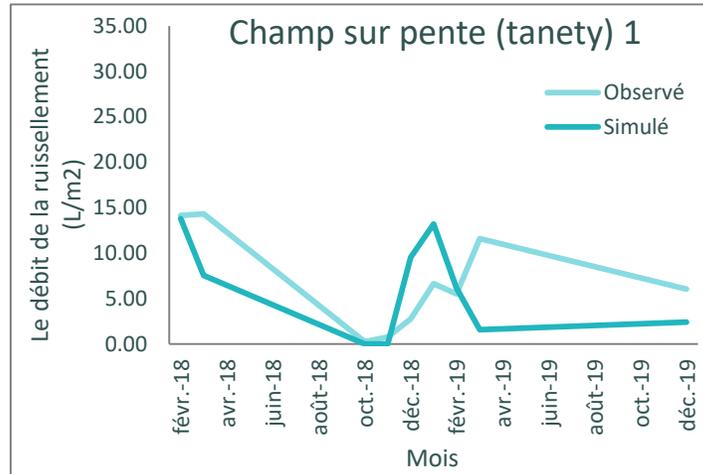
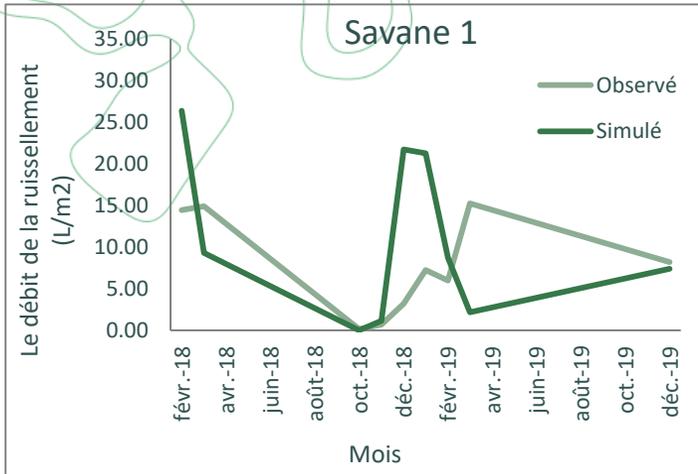
landuse

- Foret naturelle
- Eucalyptus
- Pine
- Acacia
- Parcelle agroforestiere
- Savane avec arbustes ou arbres
- Savane herbeuse
- Culture pluviale
- Culture irriguee de bas fond
- Marecages / Zone humides
- Sols nus, Rocher
- Zone habitation village



Localisation des dispositif experimental

Comparaison du débit du ruissellement observé et simulé (mm)



Discussion

- Les plantations d'arbres de tous types permettent d'augmenter la quantité d'eau dans toutes les couches du sol.
- la diminution du ruissellement et l'augmentation de l'infiltration dans le sol surpassent l'augmentation du prélèvement de l'eau par la végétation à travers la transpiration
- Les bilans hydriques sont positifs ce qui peut favoriser les cultures non irriguées dans le bassin versant.
- la diminution du ruissellement de surface entraîne la diminution du débit des rivières qui ont les impacts négatifs sur l'irrigation des rizières et l'adduction en eau potable en limitant la quantité d'eau disponible.
- La diminution du ruissellement associée aux plantations est conforme aux différentes études qui montrent que l'évapotranspiration par les espaces boisés utilise plus d'eau que la végétation à racines peu profondes et entraîne une réduction du ruissellement annuel, et de l'érosion (Scott, 1999; Scott and Lesch, 1997; Prinsloo and Scott, 1999; Dye and Poulter, 1995 ; Scott, 2005; Salemi et al., 2012).

Discussion

- L'intensité des impacts modélisés varient selon les espèces d'arbres plantés.
- La valeur de K_c et la profondeur des racines sont les paramètres clés qui entraîne diminuer le ruissellement et augmenter l'infiltration.
- les arbres avec des racines profondes et un demande en transpiration (fort K_c) élevée entraînent une diminution du débit à l'exutoire.
- Les résultats sont conformes aux études précédentes qui ont également montré qu'une augmentation des plantations d'arbres à croissance rapide comme l'Eucalyptus entraîne une diminution annuelle du ruissellement de surface et du débit à l'exutoire (Stednick, 1996; Scott et Lesch, 1997; Brown et al., 2005 ; Zhou et al., 2002).
- La comparaison des impacts entre les espèces doit être analysée avec précaution.

Conclusion

- La plantation d'arbres à croissance rapide pourrait permettre d'augmenter la teneur en eau du sol et de réduire le ruissellement.
- En raison de leur forte consommation d'eau, ces plantations pourraient mener à une diminution du débit à l'exutoire ce qui aurait des conséquences l'adduction en eau potable et l'irrigation des cultures
- La plantation d'arbres à croissance rapide pourrait limiter les crues et les risques d'inondation.
- Il faut faire preuve de prudence lors de la planification de transferts à grande échelle de terres sous des plantations d'arbres à croissance rapide.

Les limites de l'étude

- le dispositif expérimental installé pour mesurer le ruissellement et l'érosion n'a pas pu être utilisé en raison (i) d'incertitudes sur les mesures de terrain et (ii) de forts écarts entre la surface du dispositif de terrain (12m²) et de la résolution des données du modèle (10x10m).
- Les valeurs de Kc ont été recalculés à partir de mesures de transpiration effectuées avec différentes méthodes et dans différents contextes climatiques dans la littérature.
- les profondeurs racinaires n'ont pas été mesurées pour les différentes espèces à un même stade de maturité.
- Les images satellites et les bases de données mondiales contiennent des incertitudes et des niveaux d'imprécisions intrinsèques.
- Il n'a pas eu d'accès à la description du calcul de certains processus au sein du modèle qui pourraient expliquer la différence entre les espèces.

Merci pour votre attention



nitidæ
filieres & territoires