

Sous-titre 5 : EVALUATION A LONG TERME DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL (FOCUS SUR LA FONCTION DE STOCKAGE DE CARBONE)

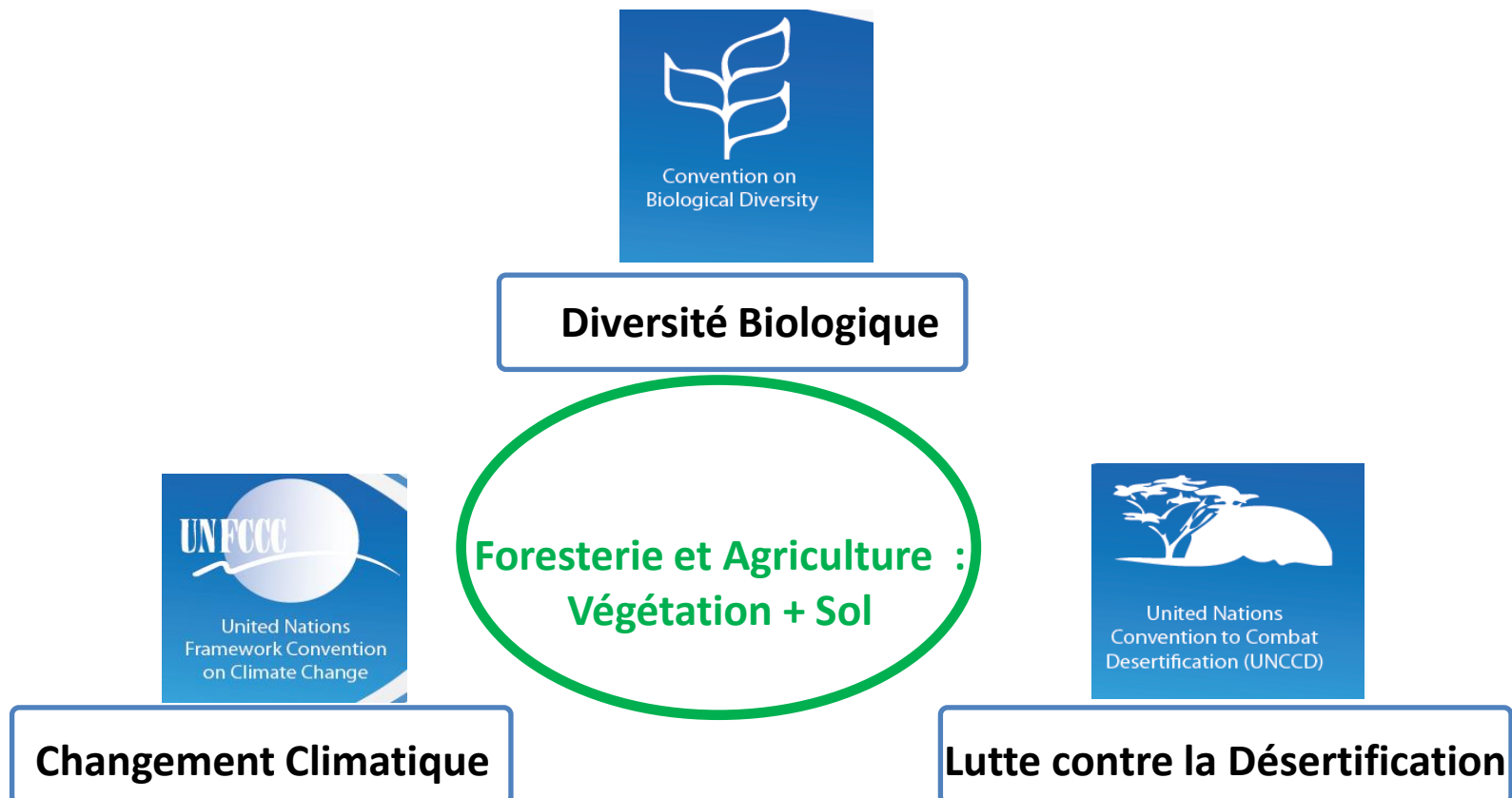
Intervenant: RAZAKAMANARIVO Herintsitohaina
Chercheur Enseignante
Laboratoire des Radio-Isotopes

Sous-titre 5 : EVALUATION A LONG TERME DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL (FOCUS SUR LA FONCTION DE STOCKAGE DE CARBONE)

- Pourquoi faire le suivi du carbone organique du sol COS?
- Les contextes de ce suivi?
- Quelle démarche pour évaluer à long terme le COS?
- Parallèlement, des exemples pratiques

Pourquoi faire le suivi la MO/Carbone Organique du Sol -COS? (« *Monitoring Soil Carbon Change* »)

- Obligation du changement d'échelle (« *upscaling* »): du processus à l'application, de la parcelle à une plus grande échelle ... pour une période donnée
- Réponse aux soucis internationaux: atténuation du changement climatique (CC), sécurisation alimentaire, protection de la biodiversité



Contextes du suivi dans le temps du COS

- Raisons environnementale-économique à différents niveaux (international&local): cycle de vie de projet rente carbone (MDP), démonstration d'évitement d'émissions de GES (REDD + et REDD++/REALU)
- Raisons écologique (*Guo & Gifford, 2002 ; Lal, 2004; Lal, 2005; Polglase et al., 2004 ; Laganière et al., 2009*):
 - ✓ Difficulté de l'étude de la dynamique du COS suite à l'interaction entre différents processus: biologique, physique et chimique
 - ✓ Les études habituelles impliquent des parcelles permanentes à long terme (n'existant pas réellement sur le terrain/problème de suivi)
 - ✓ ... d'autres manières pour évaluer le changement de COS est de mesurer les stocks de COS à différent moment après la conversion d'un mode d'usage de terre quelconque à un autre
- Les principales questions posées (selon l'objectif du projet/étude):
 - ✓ Dans quelles mesures le COS stocké dans le sol est perdu/restauré- « *recovery* » et après combien de temps (années)?
 - ✓ Quels sont les facteurs (géo-morpho-pédologique, biophysique, climatologique, écologique, socio-économique, ...) qui pourraient affecter cette dynamique?
 - ✓ ...

... Les approches ... (1)

- Basées sur les mesures sur le terrain:
 - ✓ Approche synchronique: mesurer ensemble à un temps t actuel tous les COS de différentes parcelles à différents temps t_i (dont l'ensemble constitue une chronoséquence) pour voir l'évolution « théorique » du COS
 - ✓ Approche diachronique: mesurer à chaque temps t_i le COS d'une même parcelle (*permanent plot*) pour établir la courbe d'évolution du COS avec le temps

- Basées sur la modélisation (simulation & prédiction des réponses du COS au changement global):
 - ✓ La plus part des modèles se focalisent sur le processus impliquant le mouvement et les transformations des la matière en énergie. Ils fonctionnent à un pas de temps mensuel (jusqu'à la durée de la simulation) et considèrent différents compartiments de MO qui sont caractérisés par leur nature et vitesse de minéralisation (rapide pour les MO labiles, lente pour les MO récalcitrantes)
 - ✓ Les plus courants: Century (*Parton et al., 1987 ; Parton et Rasmussen, 1994*) et RothC (*Jenkinson et Rayner, 1977 ; Jenkinson, 1990*)

... Les approches ... (2)

- CENTURY:
 - ✓ développé pour des simulations à long terme (décade à siècle) de la dynamique de la matière organique du sol et des cycles de l'azote, du phosphore et du soufre.
 - ✓ Originellement développé pour les prairies américaines, il a été depuis étendu aux autres cultures, aux forêts (même tropicales) et savanes
 - ✓ comporte des sous-modèles « sol », « hydrique » et « plante ».
- ROTH-C
 - ✓ diffère peu de Century (même structure, légère différence entre les paramètres) et utilise un pas de temps mensuel pour calculer le C total, la biomasse microbienne sur une échelle de un an à un siècle
 - ✓ divise le carbone du sol en quatre fractions actives et une petite dernière qu'est la fraction inerte de la matière organique (résistante à la décomposition): le matériel décomposable de la plante (DPM), le matériel résistant de la plante (RPM), la biomasse microbienne (BIO) et la matière organique humifiée (HUM)

RothC et Century: largement utilisés pour simuler les changements de COS à l'échelle nationale ou régionale ; cependant la disponibilité des données nécessaires limite souvent ces utilisations. Synthétiquement, les données de base utilisées regroupent : la végétation originelle, l'historique de l'utilisation des terres (ancien, récent, actuel et futur), le climat, le sol et la latitude.

... Les approches ... (3)

- Multi-disciplinaire, multi-sectorielle (notamment en étroite relation avec les problèmes méthodologiques en Foresterie et en Agriculture): Outil Ex-ACT (version 5, <http://www.fao.org/tc/exact/en/>)

Microsoft Excel - EX-ACT version 3.3 - August 2011 - FR

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help Adobe PDF

Arial 10 B I U % , 0.00 0.00 100%

K22 fx

A B C D E F G H I J K

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35

 **EASYPol** FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

Online resource materials for policy-making

The EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)



Déclaration
La FAO décline toute responsabilité pour les erreurs ou les lacunes dans la base de données et le logiciel ou dans la documentation qui l'accompagne, pour le support et la mise à jour ainsi que pour les dommages qui pourraient en découler. La FAO décline également toute responsabilité pour la mise à jour des données et n'assume aucune responsabilité pour les erreurs et omissions dans les données fournies. Les usagers sont cependant invités à signaler toute erreur ou lacune dans ce produit à la FAO



Les choix des calculs effectués dans cet outil sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les opinions et les choix de l'alimentation de l'Organisation des Nations-unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Version française réalisée avec le support de l'UMR Eco&Sols de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) à Montpellier, France (www.montpellier.inra.fr/ecosols/)



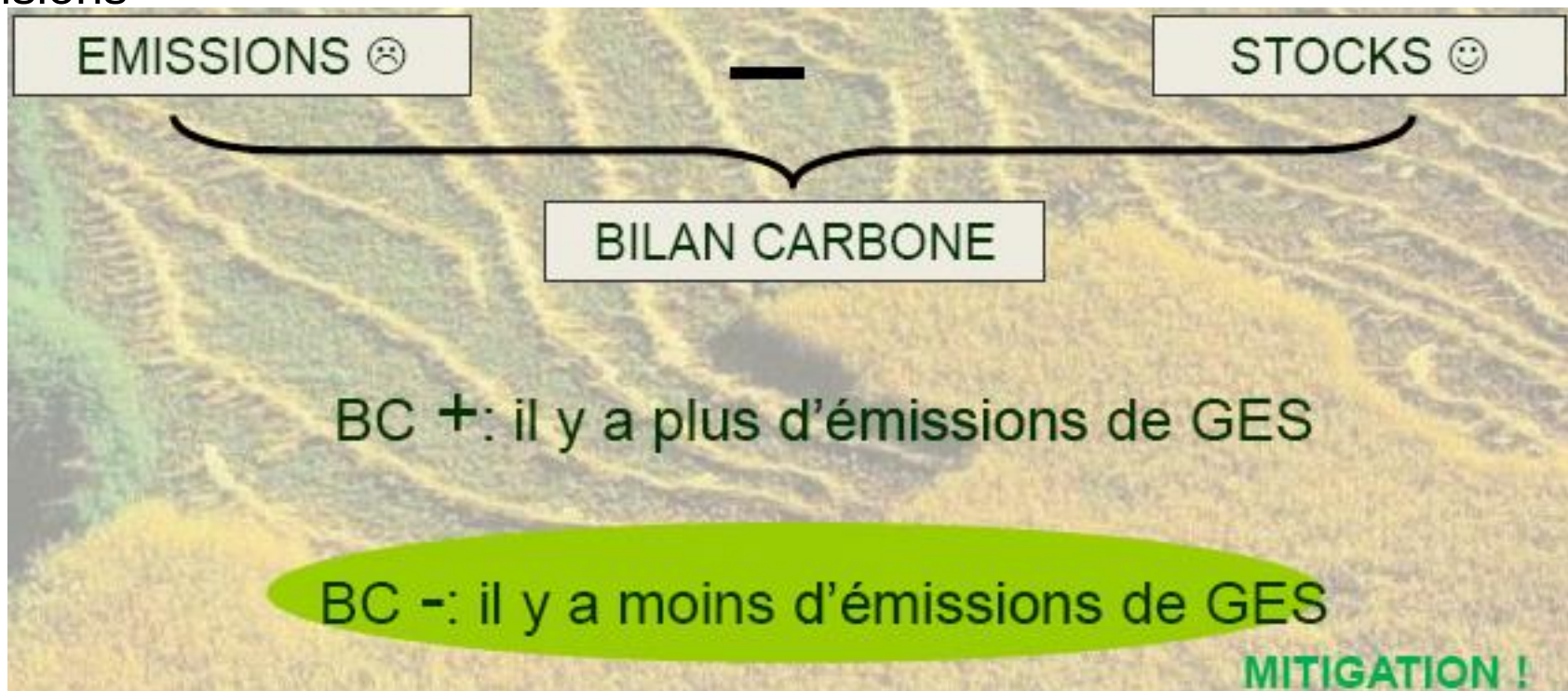
Début Description Résultats Bruts BILAN Matrice Déboisement Dégradation des Forêts B-R Autres CUT Annu

Draw AutoShapes

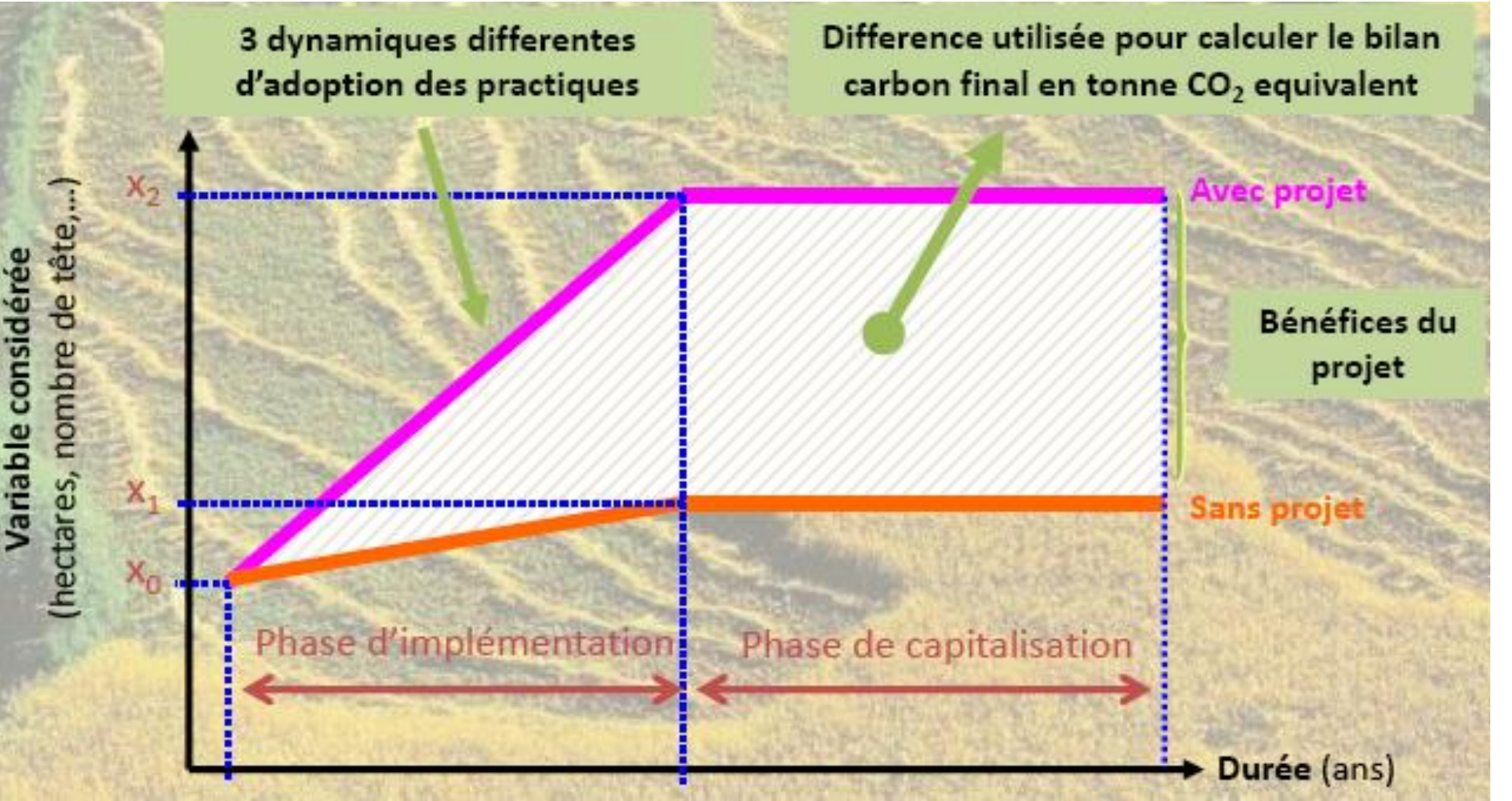
- Ex-ACT: EX-ante Carbon-balance Tool
- Créé par l'équipe de la FAO (Division économique, Centre d'Investissement, Service d'appui à l'assistance aux politiques) en collaboration avec IRD, banque Mond, GIZ, FIDA, AFD-ADEME, ...
- Plein d'application et de test partout dans le monde (dont à Madagascar)

Pour quoi faire?

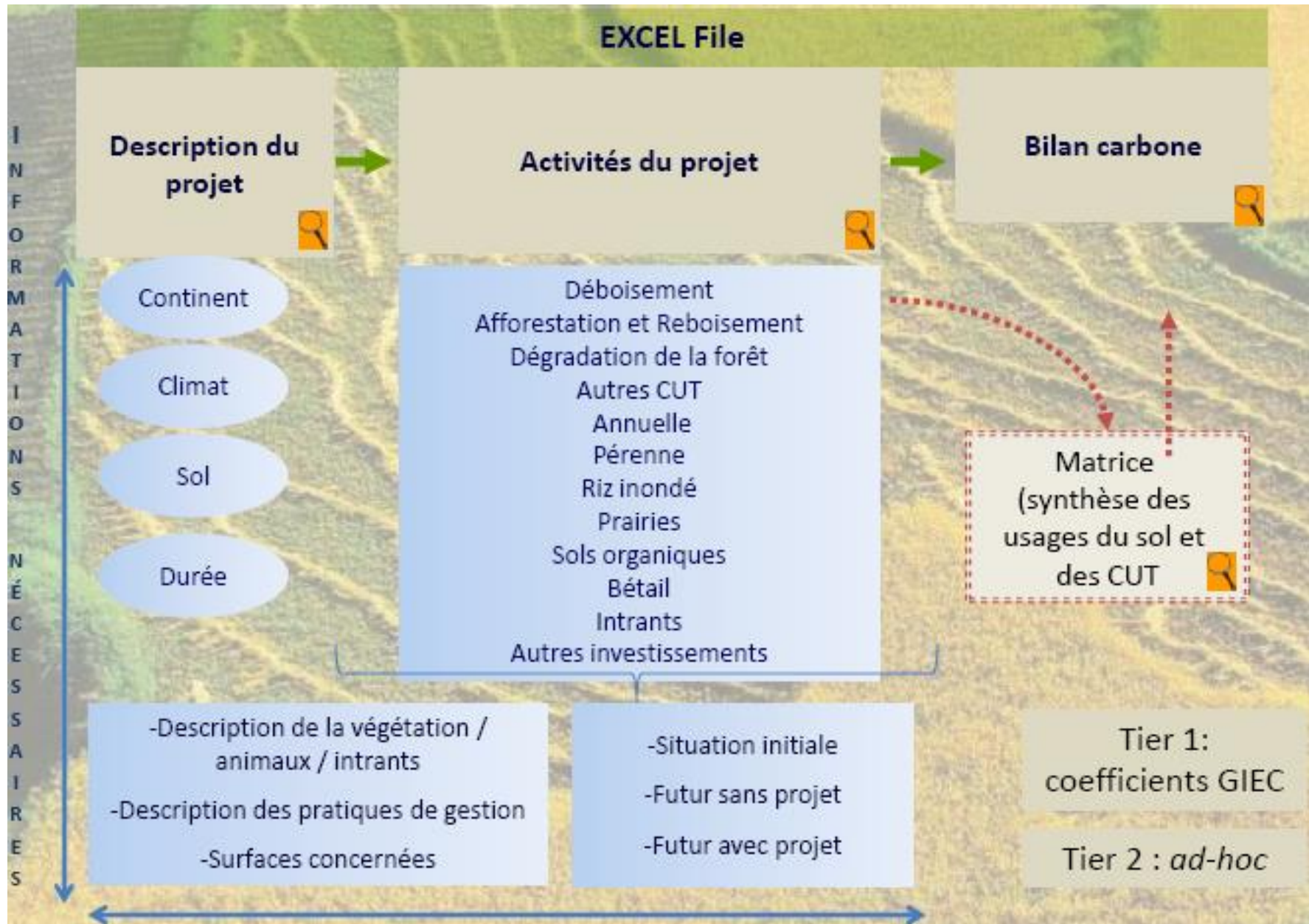
- Estimation du bilan C lors de la formulation des projets C agricoles et forestiers, filière, politiques et stratégies nationales (par rapport à une situation de référence)
- Présente deux options pour la précision Tier 1 (international/par défaut) & Tier 2 (plus précis-régional ou national)
- Sélection des activités qui contribuent le plus à l'atténuation, Aide à la prise de décisions



Description technique: structure et logique



Description technique: structure et logique

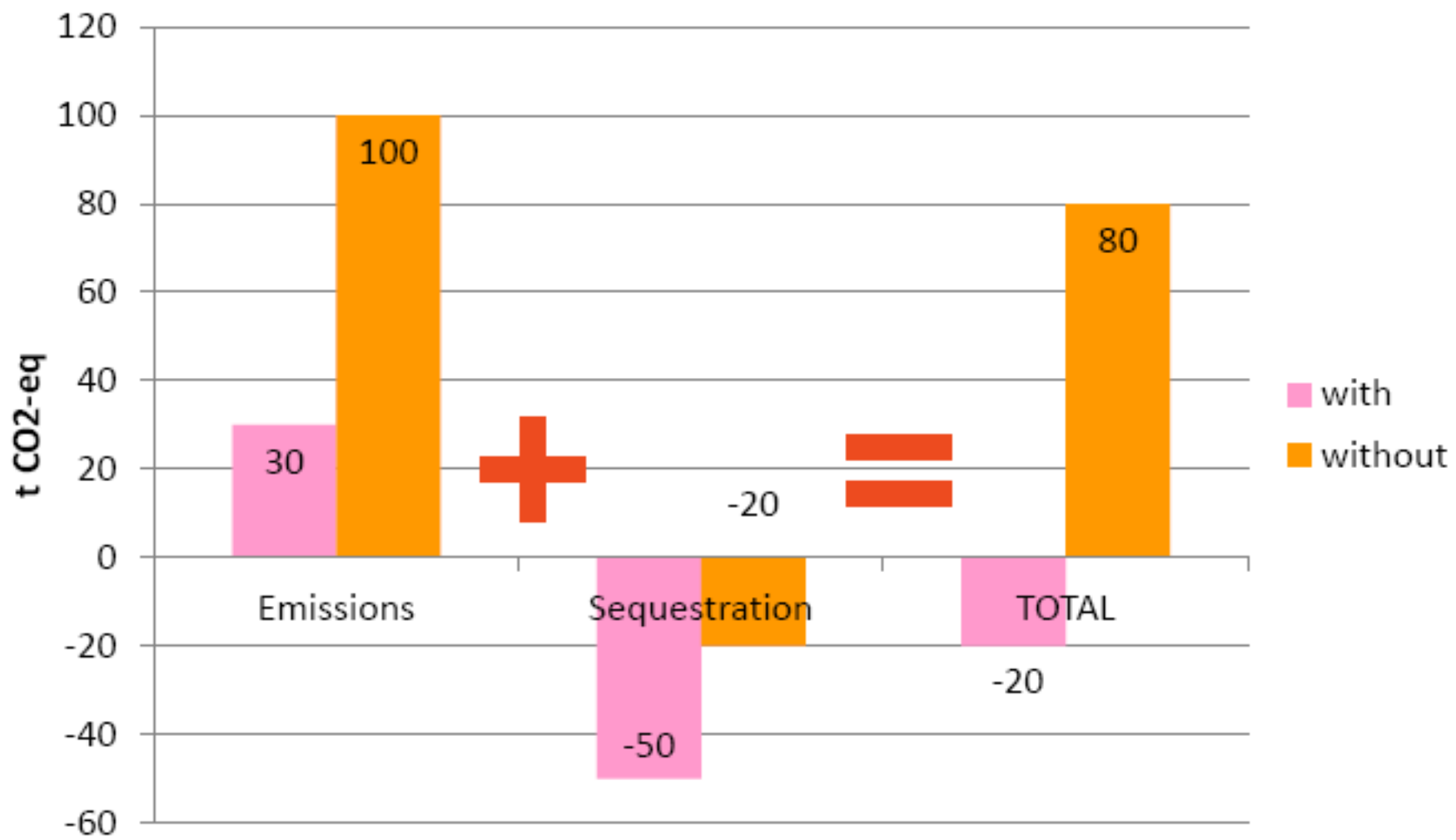


Description technique: résultats bruts

Components of the Project	Gross fluxes "Without Project" All GHG in tCO ₂ eq		Gross fluxes "With Project" All GHG in tCO ₂ eq	
Deforestation	79620	this is a source	>	30000 this is a source
Forest Degradation	0		<	0
Afforestation and Reforestation	0		<	0
Non Forest Land Use Change	-8932	this is a sink	<	-6830 this is a sink
Agriculture				
Annual Crops	20684	this is a source	>	-16559 this is a sink
Agroforestry/Perennial Crops	0		<	0
Irrigated Rice	0		<	0
Grassland	-10832	this is a sink	>	-26850 this is a sink
Organic soils and peatlands	0		<	0
Other GHG Emissions				
Livestock	0			0
Inputs	0		<	0
Other Investment	0		<	0
Final Balance	80,540	It is a source	>	- 20,239 It is a sink

• Emissions:	100 000 t	30 000 t
• Séquestration:	20 000 t	50 000 t

Description technique: résultats bruts



Description technique: Bilan C

Components of the Project	Gross fluxes "With Project" All GHG in tCO ₂ eq	Gross fluxes "Without Project" All GHG in tCO ₂ eq	Balance (Project - Baseline) All GHG in tCO ₂ eq
Deforestation	30000 this is a source	79620 this is a source	-49620 this is a sink
Forest Degradation	0	0	0
Afforestation and Reforestation	0	0	0
Non Forest Land Use Change	-6830 this is a sink	-8932 this is a sink	2102 this is a source
Agriculture			
Annual Crops	-16559 this is a sink	20684 this is a source	-37243 this is a sink
Agroforestry/Perennial Crops	0	0	0
Irrigated Rice	0	0	0
Grassland	-26850 this is a sink	-10832 this is a sink	-16018 this is a sink
Organic soils and peatlands	0	0	0
Other GHG Emissions			
Livestock	0	0	0
Inputs	0	0	0
Other Investment	0	0	0
Final Balance	- 20,239 It is a sink	80,540 It is a source	- 100,779 It is a sink

Description technique: Bilan C

Components of the Project	Gross fluxes "With Project" All GHG in tCO ₂ eq	Gross fluxes "Without Project" All GHG in tCO ₂ eq	Balance (Project - Baseline) All GHG in tCO ₂ eq
Deforestation	30000 this is a source	79620 this is a source	-49620 this is a sink
Forest Degradation	0	0	0
Afforestation and Reforestation	0	0	0
Non Forest Land Use Change	-6830 this is a sink	-8932 this is a sink	2102 this is a source
Agriculture			
Annual Crops	-16559 this is a sink	20684 this is a source	-37243 this is a sink
Agroforestry/Perennial Crops	0	0	0
Irrigated Rice	0	0	0
Grassland	-26850 this is a sink	-10832 this is a sink	-16018 this is a sink
Organic soils and peatlands	0	0	0
Other GHG Emissions			
Livestock	0	0	0
Inputs	0	0	0
Other Investment	0	0	0
Final Balance	- 20,239 It is a sink	80,540 It is a source	- 100,779 It is a sink

Quelles approches pour l'étude de la dynamique du COS ?

- Quelle démarche générale pour ces approches ?
 - ✓ Inventaire et Mesure des stocks de COS
 - ✓ Analyse des déterminants/facteurs du stockage de COS
 - ✓ Cartographie des stocks de COS (+ modélisation de la distribution spatiale)
 - ✓ Modélisation du changement temporel des stocks de COS

Démarche générale : Mesure du COS

Méthodologie:

- Prélèvement de sol sur des parcelles de 10 mx10m plot, selon les types de forêts-différents mode d'usage des terres-classe d'altitude-gradient de climat-...
- Estimation des stocks sur 0-30 cm & 100 cm

Activités:

- Travaux de terrain+implication de la population locale
- Mesure de la densité du sol (Da)
- Base de données sur le sol
- Analyse en laboratoire:
 - Méthode conventionnelle
 - Spectrométrie en infrarouge
- Calcul des stocks de COS



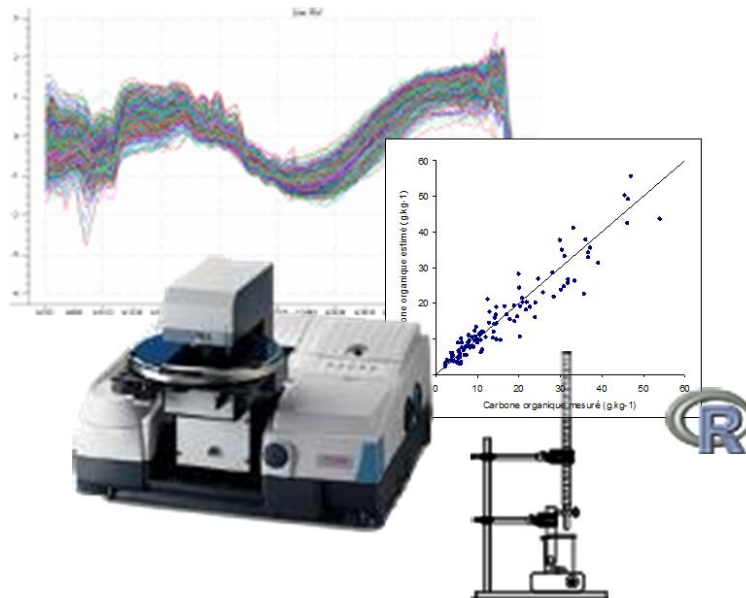
Démarche générale : Mesure du COS



© GoodPlanet/R. Vaudry



© IRD Madagascar

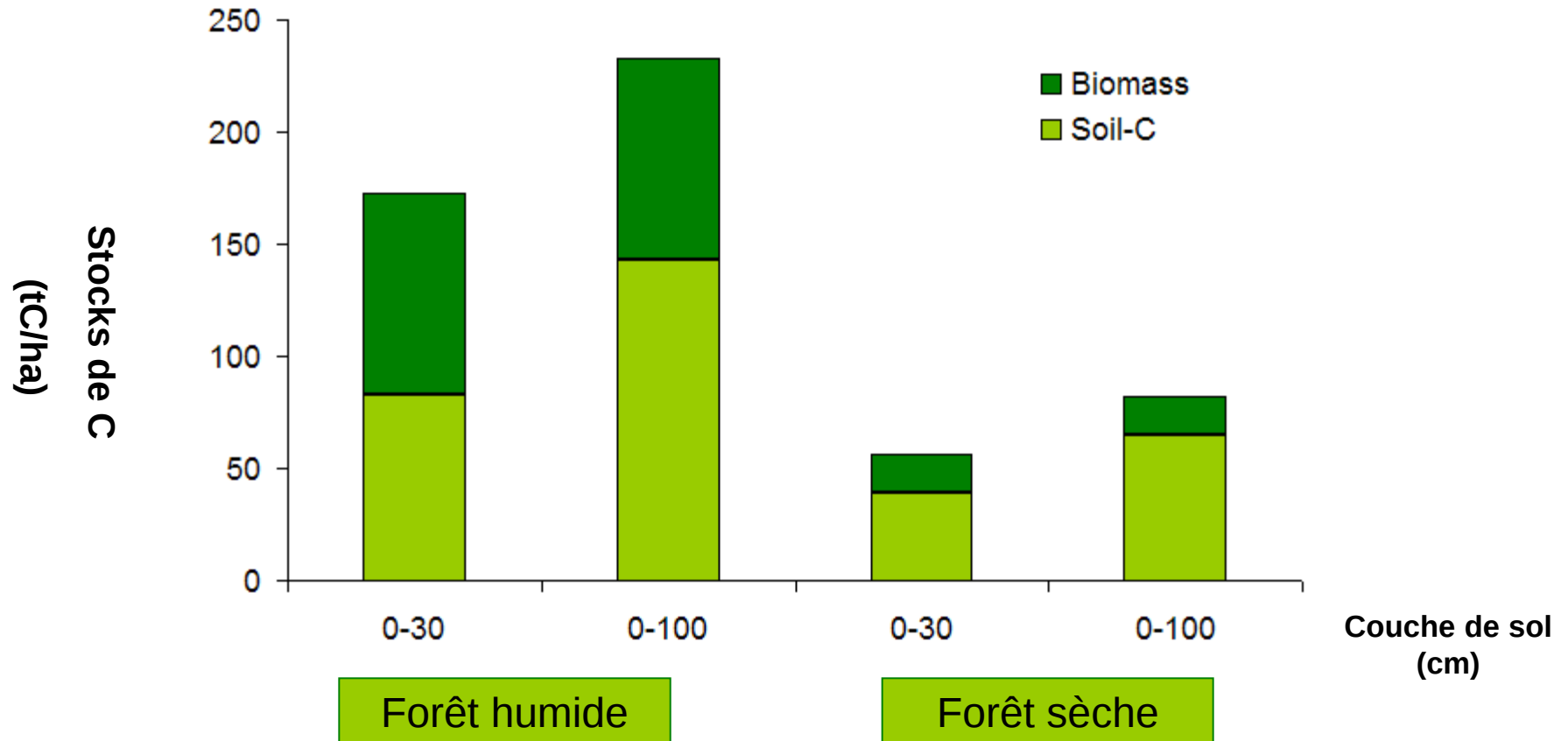


Spectroscopie en Moyen Infrarouge:

- Méthode non destructive, rapide et à moindre coût
- Plus de 1000 échantillons de sol (125 placettes)

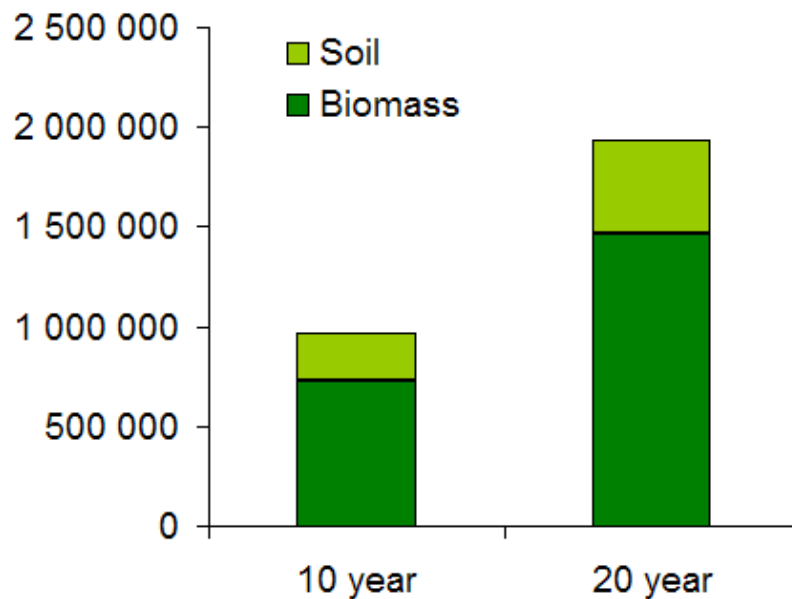
Démarche générale : Mesure du COS – Résultats sur les stocks

De 1,6 à 3,8 fois plus de carbone dans le sol (1 m) que dans la biomasse

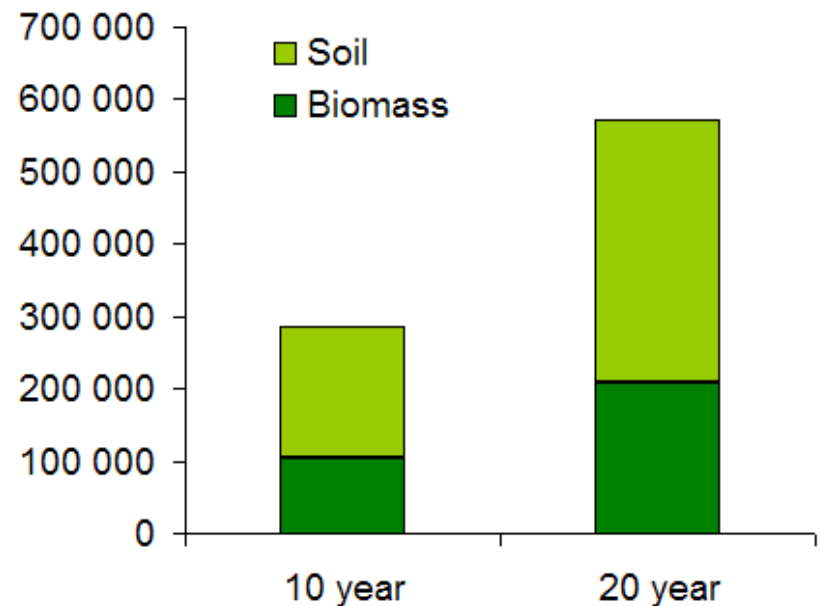


Démarche générale : Mesure du COS – Résultats sur le suivi

Ligne de référence émission de C Sol & Biomasse aérienne



Région humide Fort-Dauphin/Andohahela



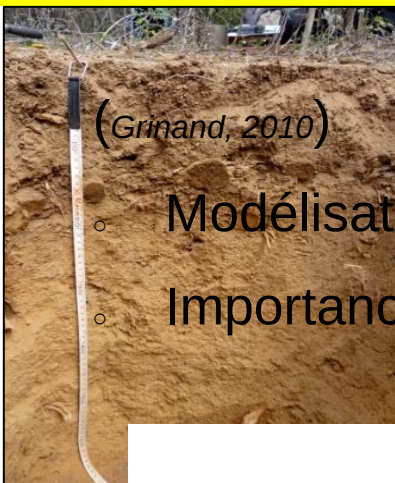
Région sèche Fort-Dauphin/Andohahela

En région humide, l'émission de COS serait de 30% de l'émission par la biomasse

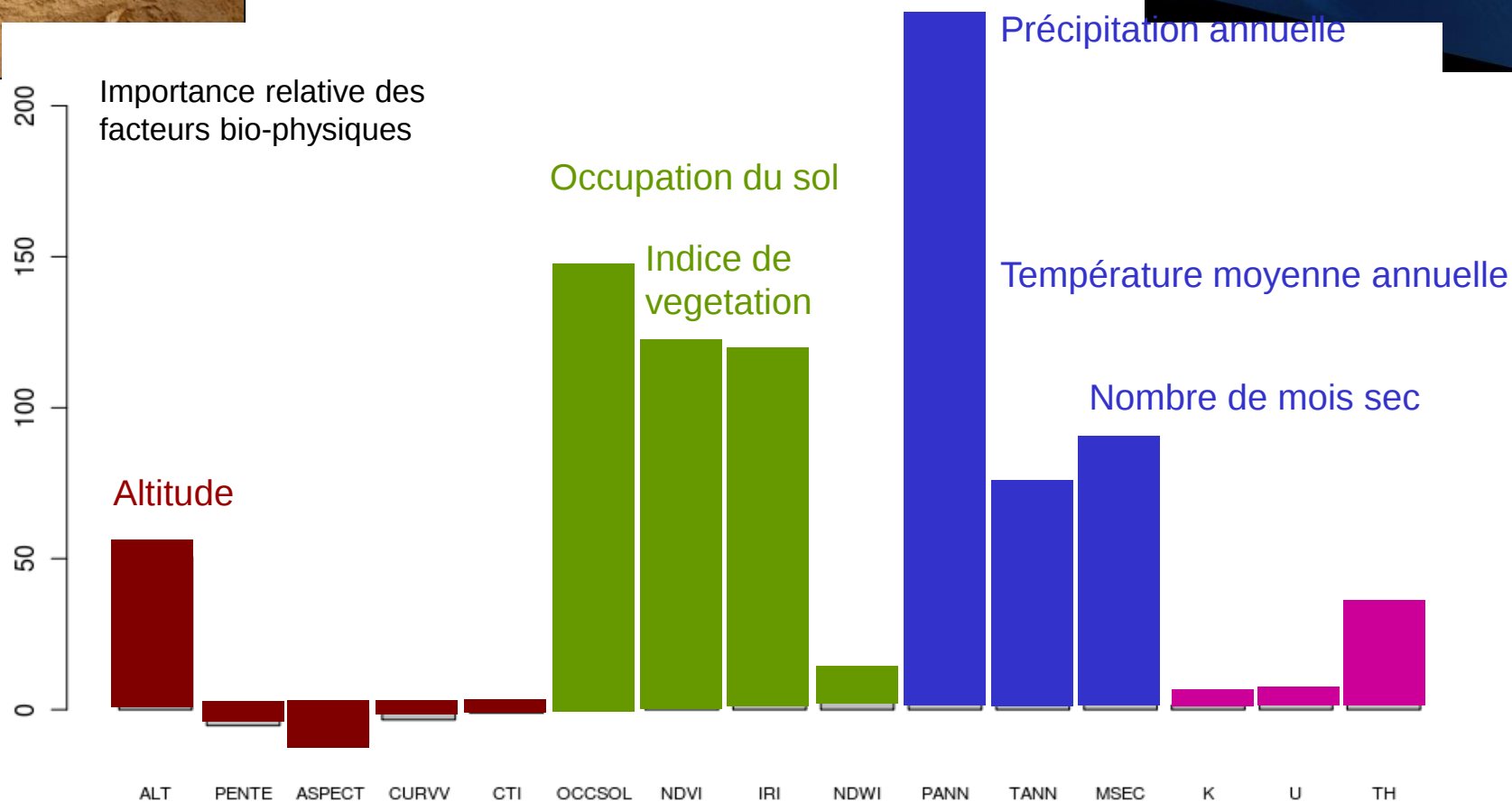
En région sèche et épineuse, le potentiel d'atténuation par le sol est plus élevé en comparaison à celle de la région humide

(Razakamanarivo et al, forthcoming)

Démarche générale : Cartographie du COS

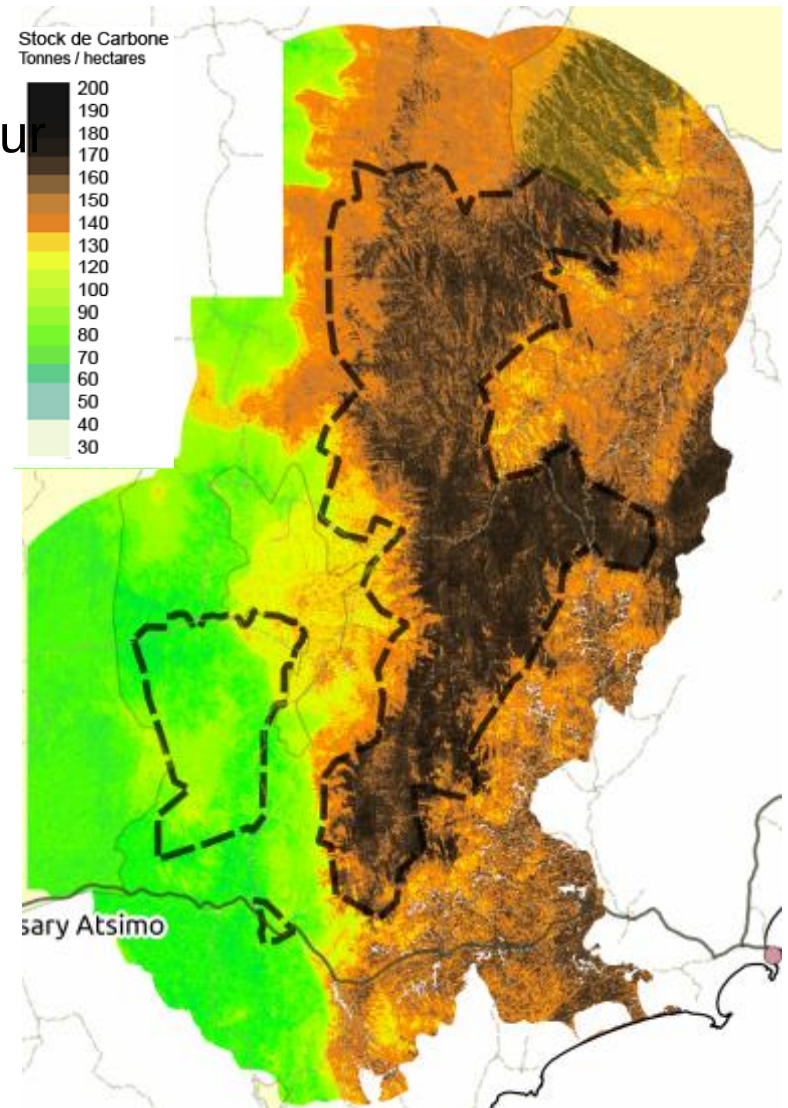


- Modélisation de la distribution spatiale du carbone du sol
- Importance relative des données satellites et autres variables spatiales:



Démarche générale : Cartographie du COS

- Cartographie des stocks 30 cm et 1m sur le Parc National d'Andohahela et sa périphérie
- Carte du carbone à 10 m de résolution (images SPOT)
- Incertitude de 24% et 30% en moyenne
- Méthode reproductible (actuellement essai pour une étude à l'échelle sur toute l'Ecorégion Humide de Madagascar)



Démarche générale : Modélisation du COS

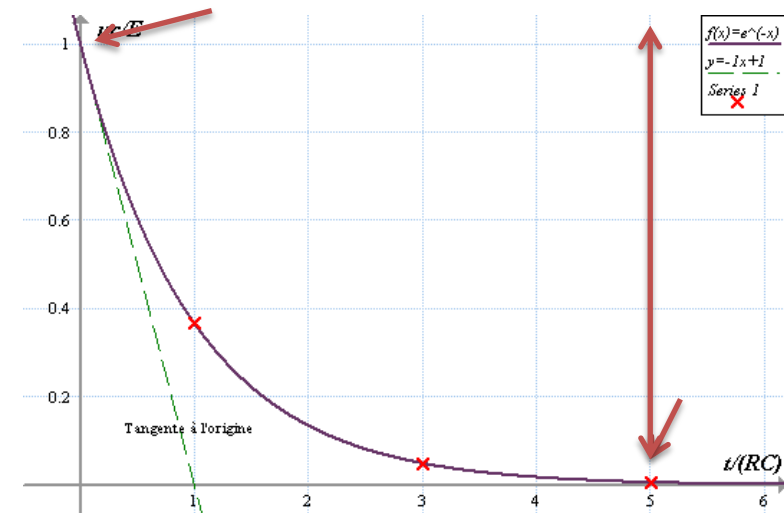
Objectif :

Évaluer le changement (dont par hypothèse: une perte) du COS suite à la conversion d'une forêt en non-forêt (déforestation)

La décroissance des stocks de C peut être modélisée selon une équation exponentielle décroissante (Arrouays et al. 1994)

$$y = (a + b)e^{(-k*t)}$$

a = stock de carbone à la fin (stock sous vieille parcelle)
a + b = stock de carbone à l'origine (stock initial sous forêt)
b = perte de carbone en pourcentage entre état initial et final
k = vitesse de minéralisation du carbone organique
t = temps (âge après conversion/défrichement)

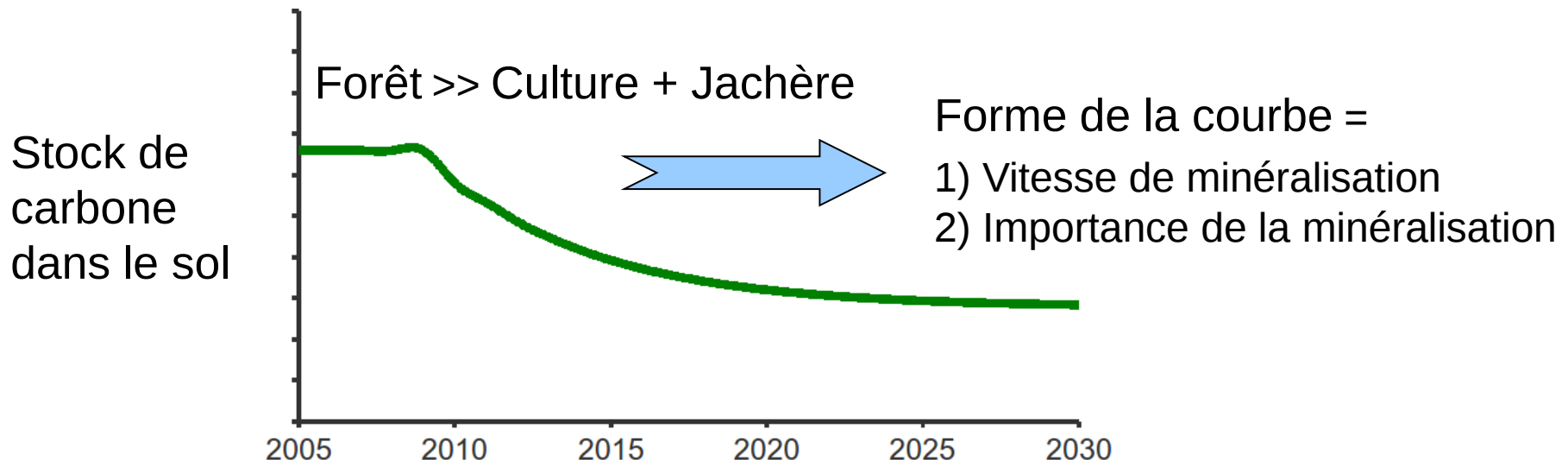


Pour déterminer les 3 inconnues de l'équation et l'ajustage du modèle la fonction *nls* «Nonlinear Least Squares» sous le logiciel R a été appliqué.

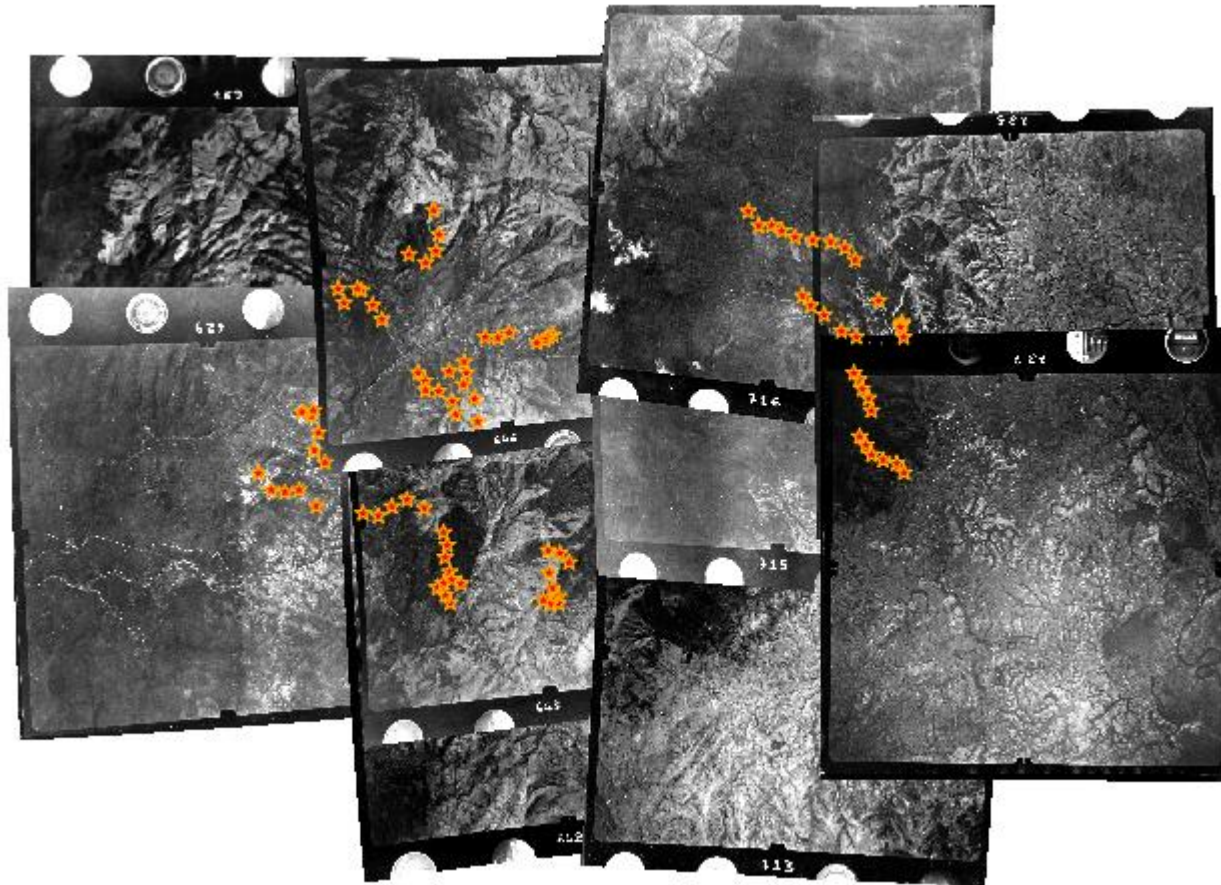
Démarche générale : Modélisation du COS

Méthodologie simplifiée (rappel) :

- Inventaire carbone
- Analyse de photos aériennes et d'images satellites (datation)
- Identification de parcelles d'âge de conversion différentes (approche synchronique)
- Modélisation de la dynamique du carbone dans le temps



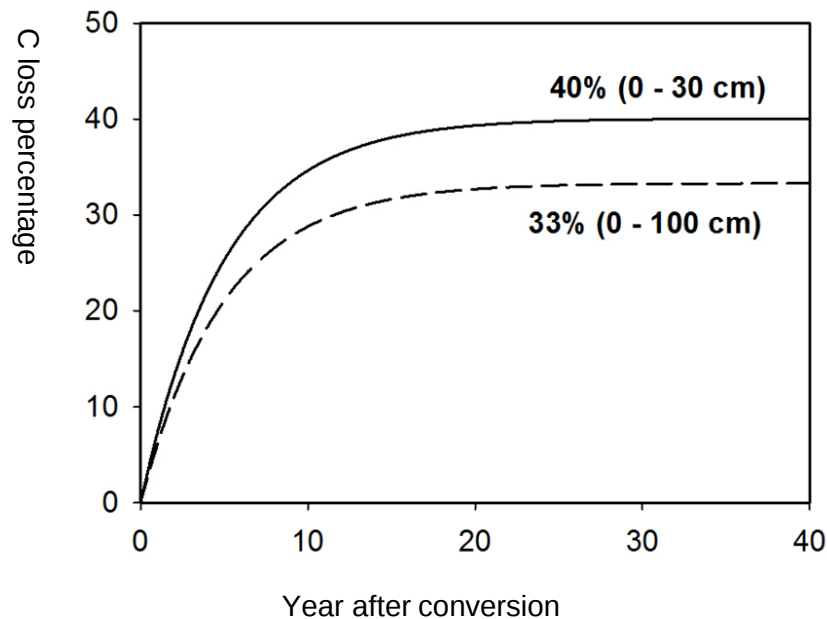
Démarche générale : Modélisation du COS-pratique



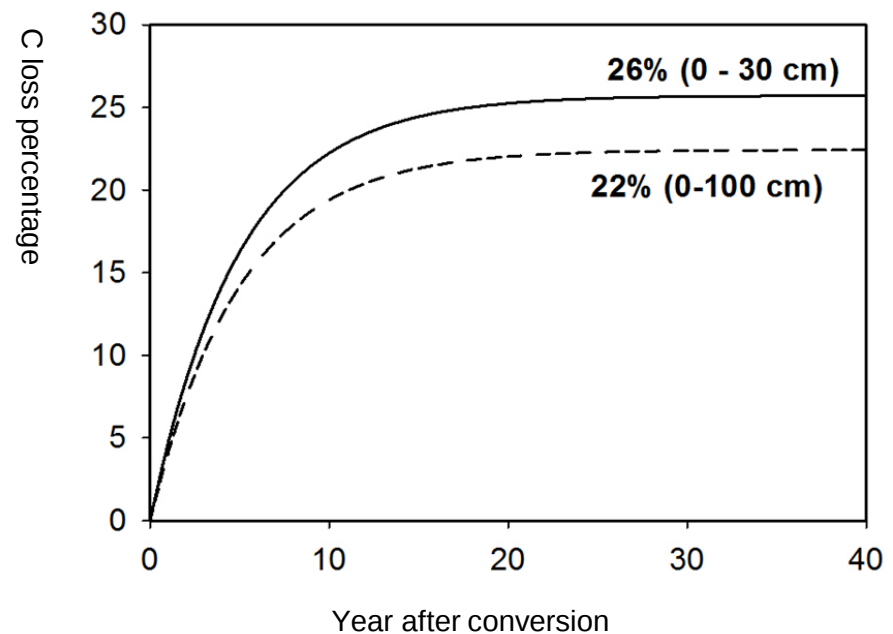
Analyse de photos aériennes (1940-1990) et de cartes
de la déforestation 1990-2000-2005-2010

Démarche générale : Modélisation du COS-pratique

Région épineuse



Région Humide



Résultats en cohérence avec ceux de IPPC: facteur d'émission par défaut de 40%
Perte maximale atteinte vers 15 ans après la déforestation
Pertes différentes selon la profondeur

Démarche générale : Modélisation du COS-pratique

Autres études en cours à Madagascar (LRI & partenaires):

Andriampiolazana M., 2014. Mémoire DEA ESSA-Forêts (dynamique spatio-temporelle du COS dans la région d'Antsirabe)

Grinand C., 2013-2015. Thèse SIBAGHE SupAgro (Cartographie et modélisation du changement du COS à différentes échelles dans le cadre de la REDD à Madagascar)

Ramboatiana N., 2014. Mémoire DEA ESSA-Forêts (développement d'équations nls pour la région de Fort dauphin)

Ramifehiarivo N., 2014-2017. Thèse Ecole Doctorale A2E (Cartographie de certaines propriétés des sols malgaches à différentes échelles)

Randrianarisoa J., 2014. Mémoire DEA ESSA-Forêts (développement d'équations pour le suivi du COS pour la région de Moramanga)

Andriamihaja M., 2014. Mémoire DEA ESSA-Forêts (application de RothC sur les projets REDD à Madagascar)

Réseau CaSA (cf siteweb)

.....

Références:

- Polglase, P., Snowdon, P., Theiveyanathan, T., Paul, K., Raison, J., Grove, T., Rance, S., 2004. Calibration of the FULLCAM model to Eucalyptus globulus and Pinus radiata and uncertainty analysis. In. National Carbon Accounting System Technical n° 41, Aust
- Laganière, J., Angers, d.A., Paré, d., 2009. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. Global Change Biology, 1-15.
- Lal, R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest Ecology and Management 220, 242-258.
- Guo, L.B., Gifford, M., 2002. Soil carbon stocks and land use: a meta analysis. Global Change Biology 8, 345-360.
- Grinand, C., Rajaonarivo, A., Bernoux, M., Pajot, V., Brossard, M., Razafimbelo, T.M., Albrecht, A., Le Marthret, H., 2009. Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar. Etude et Gestion des Sols 16, 23-33.
- Parton, W.D., Schimel, D.S., Cole, C.V., Ojima, D.S., 1987. Analysis of factors controlling soil organic levels of grasslands in the Great Plains. Soil Science Society of America Journal 51, 1173-1179
- Parton, W.J., Rasmussen, P.E., 1994. Long-term effects of crop management in wheat-fallow: II CENTURY model simulations. Soil Science Society of America Journal 58, 530-536.
- Jenkinson, D.S., 1990. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. Philosophical Transactions of The Royal Society. Lond 329, 361-368.
- Jenkinson, D.S., Rayer, J.H., 1977. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. Soil Science 123, 298-305.
- Grinand C. 2010. Développement d'une méthode de spatialisation des stocks de carbone dans le sol à l'échelle régionale Application à un projet REDD à Madagascar. Mémoire Master 2 SILAT. AgroParitech, Montpellier France.
- Mémoires disponibles à l'ESSAgro
- Siteweb:
 - Laboratoire des radio-Isotopes
 - FAO
 - UMR Eco&Sol IRD
-