

CHAPITRE 5

TERRES CULTIVEES

Auteurs

Rodel D. Lasco (Philippines), Stephen Ogle (États-Unis), John Raison (Australie), Louis Verchot (ICRAF/États-Unis), Reiner Wassmann (Allemagne) et Kazuyuki Yagi (Japon)

Sumana Bhattacharya (Inde), John S. Brenner (États-Unis), Julius Partson Daka (Zambie), Sergio P. González (Chili), Thelma Krug (Brésil), Yue Li (Chine), Daniel L. Martino (Uruguay), Brian G. McConkey (Canada), Pete Smith (Royaume-Uni), Stanley C. Tyler (États-Unis) et Washington Zhakata (Zimbabwe)

Contributeurs

Ronald L. Sass (États-Unis) et Xiaoyuan Yan (Chine)

Table des matières

5	Terres cultivées	5.6
5.1	Introduction.....	5.6
5.2	Terres cultivées restant terres cultivées.....	5.7
5.2.1	Biomasse	5.7
5.2.1.1	Choix de la méthode.....	5.7
5.2.1.2	Choix des facteurs d'émission.....	5.8
5.2.1.3	Choix des données sur les activités	5.12
5.2.1.4	Étapes de calcul aux niveaux 1 et 2.....	5.13
5.2.1.5	Évaluation des incertitudes.....	5.14
5.2.2	Matière organique morte	5.15
5.2.2.1	Choix de la méthode.....	5.15
5.2.2.2	Choix des facteurs d'émission/absorption.....	5.16
5.2.2.3	Choix des données sur les activités	5.16
5.2.2.4	Étapes de calcul aux niveaux 1 et 2.....	5.16
5.2.2.5	Évaluation des incertitudes.....	5.17
5.2.3	Carbone des sols.....	5.17
5.2.3.1	Choix de la méthode.....	5.18
5.2.3.2	Choix des facteurs d'émissions et de variations des stocks.....	5.19
5.2.3.3	Choix des données sur les activités	5.22
5.2.3.4	Étapes de calcul de niveau 1.....	5.26
5.2.3.5	Évaluation des incertitudes.....	5.27
5.2.4	Émissions de gaz à effet de serre sans CO ₂ dues au brûlage de biomasse.....	5.28
5.2.4.1	Choix de la méthode.....	5.28
5.2.4.2	Choix des facteurs d'émission.....	5.29
5.2.4.3	Choix des données sur les activités	5.29
5.2.4.4	Évaluation des incertitudes.....	5.30
5.3	Terres converties en terres cultivées	5.30
5.3.1	Biomasse	5.30
5.3.1.1	Choix de la méthode.....	5.30
5.3.1.2	Choix des facteurs d'émission/absorption.....	5.32
5.3.1.3	Choix des données sur les activités	5.34
5.3.1.4	Étapes de calcul de niveaux 1 et 2.....	5.35
5.3.1.5	Évaluation des incertitudes.....	5.35
5.3.2	Matière organique morte	5.36
5.3.2.1	Choix de la méthode.....	5.36
5.3.2.2	Choix des facteurs d'émission/absorption.....	5.38
5.3.2.3	Choix des données sur les activités	5.38

5.3.2.4	Étapes de calcul aux niveaux 1 et 2.....	5.39
5.3.2.5	Évaluation des incertitudes.....	5.40
5.3.3	Carbone des sols.....	5.41
5.3.3.1	Choix de la méthode.....	5.41
5.3.3.2	Choix des facteurs d'émissions et de variations des stocks.....	5.42
5.3.3.3	Choix des données sur les activités.....	5.44
5.3.3.4	Étapes de calcul de niveau 1.....	5.44
5.3.3.5	Évaluation des incertitudes.....	5.45
5.3.4	Émissions de gaz à effet de serre sans CO ₂ dues au brûlage de biomasse.....	5.45
5.3.4.1	Choix de la méthode.....	5.46
5.3.4.2	Choix des facteurs d'émission.....	5.46
5.3.4.3	Choix des données sur les activités.....	5.47
5.3.4.4	Évaluation des incertitudes.....	5.47
5.4	Exhaustivité, séries temporelles, AQ/CQ et établissement de rapports.....	5.48
5.4.1	Exhaustivité.....	5.48
5.4.2	Développement d'une série temporelle cohérente.....	5.49
5.4.3	Assurance de la qualité et contrôle de la qualité.....	5.49
5.4.4	Établissement de rapports et documentation.....	5.50
5.5	Émissions de méthane dues au riz.....	5.51
5.5.1	Choix de la méthode.....	5.52
5.5.2	Choix des facteurs d'émission et d'échelonnage.....	5.55
5.5.3	Choix des données sur les activités.....	5.58
5.5.4	Évaluation des incertitudes.....	5.59
5.5.5	Exhaustivité, séries temporelles, AQ/CQ et établissement de rapports.....	5.60
Annexe 5A.1	Estimation de facteurs de variation des stocks par défaut pour les émissions/absorptions de C des sols minéraux de terres cultivées.....	5.62
	Références.....	5.63

Équations

Équation 5.1	Émissions de CH ₄ dues à la riziculture.....	5.52
Équation 5.2	Facteur d'émissions ajusté quotidien.....	5.55
Équation 5.3	Facteurs d'échelonnage ajustés des émissions de CH ₄ pour les amendements organiques.....	5.57

Figures

Figure 5.1	Classification des systèmes de terres cultivées.....	5.25
Figure 5.2	Diagramme décisionnel pour les émissions de CH ₄ dues à la riziculture.....	5.54

Tableaux

Tableau 5.1	Coefficients par défaut pour la biomasse ligneuse aérienne et les cycles de récoltes des systèmes de cultures à espèces vivaces	5.10
Tableau 5.2	Stockage potentiel de C pour des systèmes agroforestiers de différentes écorégions du monde....	5.10
Tableau 5.3	Biomasse aérienne par défaut pour différents types de terres cultivées vivaces (tonnes ha ⁻¹).....	5.11
Tableau 5.4	Exemples de sous-catégories de terres cultivées vivaces pouvant exister dans un pays	5.13
Tableau 5.5	Facteurs de variation des stocks relatifs (F _{Aft} , F _{Gestion} , et F _E) (sur 20 ans) pour différentes activités de gestion sur des terres cultivées.....	5.20
Tableau 5.5	(suite) Facteurs de variation des stocks relatifs (F _{Aft} , F _{Gestion} , et F _E) (sur 20 ans) pour différentes activités de gestion sur des terres cultivées	5.21
Tableau 5.6	Facteur d'émissions annuelles (FE) pour les sols organiques cultivés	5.22
Tableau 5.1	Exemple d'une matrice simple (niveau 2) pour les impacts des activités de conversion des terres sur les pools de carbone.....	5.32
Tableau 5.8	Valeurs par défaut des stocks de carbone de la biomasse absorbés suite à une conversion des terres en terres cultivées	5.33
Tableau 5.9	Valeurs par défaut des stocks de carbone de la biomasse présents sur les terres converties en terres cultivées pour l'année postérieure à la conversion	5.33
Tableau 5.10	Facteurs de variation des stocks des sols (F _{Aft} , F _{Gestion} , F _E) pour les conversions d'affectation des terres en terres cultivées	5.43
Tableau 5.11	Facteur d'émissions de CH ₄ de base par défaut, supposant qu'il n'y a pas d'inondation pendant moins de 180 jours avant la riziculture, et une inondation permanente pendant la riziculture, sans amendements organiques	5.56
Tableau 5.12	facteurs d'échelonnage des émissions de CH ₄ par défaut pour les régimes hydriques pendant la période de culture de champs inondés en permanence	5.56
Tableau 5.13	facteurs d'échelonnage des émissions de CH ₄ par défaut pour les régimes hydriques avant la période de culture	5.57
Tableau 5.14	facteur de conversion par défaut pour différents types d'amendements organiques	5.58

Encadrés

Encadré 5.1	Pools de carbone des terres cultivées	5.6
Encadré 5.2	Conditions influençant les émissions de CH ₄ de la riziculture	5.53

5 TERRES CULTIVEES

5.1 INTRODUCTION

La présente section propose une méthodologie par niveaux permettant d'estimer les émissions de gaz à effet de serre sur les terres cultivées et de les inclure dans les rapports. Parmi les terres cultivées, on compte les terres arables et labourables, et les systèmes agroforestiers dont la structure végétale reste en deçà des seuils choisis pour la catégorie terres forestières et ne devrait jamais atteindre ces seuils. Les terres cultivées comprennent les cultures annuelles et vivaces mais aussi les terres cultivées en jachère temporaire (soit, des terres laissées au repos pendant une ou plusieurs années avant d'être à nouveau cultivées). Les cultures annuelles incluent les cultures céréalières, cultures de graines oléagineuses, cultures légumières, cultures de plantes-racines et cultures fourragères. Les cultures vivaces incluent des arbres et arbustes, ainsi que des herbacées (agroforesterie, par exemple) ou des vergers, vignes et plantations de cacaoyers, caféiers, théiers, palmiers à huile, cocotiers, hévéas et bananiers, sauf lorsque ces terres correspondent aux critères de classification des terres forestières. Les terres arables normalement utilisées pour des cultures annuelles, mais utilisées temporairement pour des cultures fourragères ou des pâturages dans le cadre d'une rotation annuelle cultures-pâturages (système mixte), entrent dans la catégorie des terres cultivées.

Les émissions et absorptions de carbone par les terres cultivées permanentes dépendent du type de cultures, des pratiques de gestion et des variables sol et climat. Ainsi, les cultures annuelles (cultures céréalières ou légumières, par exemple) sont récoltées chaque année, et il n'y a donc pas de stockage à long terme du carbone dans la biomasse. Par contre, la végétation ligneuse vivace des vergers, des vignes et des systèmes agroforestiers peut stocker des quantités importantes de carbone dans la biomasse durable, selon l'espèce, la densité, les taux de croissance et les modes de récoltes et d'émondage. Les stocks de carbone des sols peuvent être significatifs et peuvent varier en fonction des caractéristiques du sol et des pratiques de gestion, y compris les types de cultures et la rotation, le travail du sol, le drainage, la gestion des résidus et les apports organiques. Le brûlage de résidus de récoltes produit une quantité significative de gaz à effet de serre sans CO₂. Des méthodes de calcul sont fournies ici.

Les recommandations concernant les *terres cultivées restant terres cultivées* (CC) et les *terres converties en terres cultivées* (TC) sont séparées, en raison des différences entre la dynamique de leur carbone. La conversion de terres forestières, prairies et terres humides en terres cultivées entraîne généralement des pertes nettes de carbone de la biomasse et des sols ainsi que l'émission de N₂O vers l'atmosphère. Par contre, les terres cultivées établies sur des terres précédemment couvertes d'une végétation sporadique ou fortement perturbée (par exemple, les terres minées) peuvent entraîner un gain net de carbone à la fois dans la biomasse et dans le sol. Certains changements, notamment affectant le carbone des sols, peuvent durer plus d'une année. Les recommandations fournies concernent les pools de carbone indiqués à l'encadré 5.1.

Le terme conversion d'affectation des terres s'applique uniquement aux terres passant d'un type d'affectation à un autre. Lorsqu'une culture vivace est remplacée par une culture identique ou différente, l'affectation reste dans la catégorie terres cultivées ; en conséquence les variations des stocks de carbone doivent être estimées à l'aide des méthodes données pour les *terres cultivées restant terres cultivées*, décrites à la section 5.2 ci-dessous.

ENCADRE 5.1	
POOLS DE CARBONE DES TERRES CULTIVEES	
	Biomasse
-	Biomasse aérienne
-	Biomasse souterraine
	Matière organique morte
-	Bois mort
-	Litière
	Sols (matière organique des sols)

Les changements apportés aux *Lignes directrices GIEC 2006* par rapport aux *Lignes directrices GIEC 1996* sont les suivants :

- La section *terres cultivées* a été entièrement remodelée ;
- Le carbone de la biomasse et des sols se trouve dans la même section ;
- Les émissions de méthane dues à la riziculture sont incluses dans la catégorie *terres cultivées* ;
- Les émissions de gaz sans CO₂ dues au brûlage de biomasse (*terres cultivées restant terres cultivées* et *terres converties en terres cultivées*) sont également incluses dans le chapitre *terres cultivées* ; et
- Des valeurs par défaut sont fournies pour la biomasse des terres cultivées et des zones d'agroforesterie.

5.2 TERRES CULTIVEES RESTANT TERRES CULTIVEES

La présente section propose des lignes directrices relatives à l'inventaire des gaz à effet de serre des terres cultivées n'ayant pas subi de conversion d'affectation des terres pendant au moins 20 ans (par défaut)¹. La section 5.3 présente des lignes directrices pour les *terres converties en terres cultivées* dans les 20 années passées. Parmi les émissions et absorptions annuelles de gaz à effet de serre des *terres cultivées restant terres cultivées*, on compte :

- Estimation des variations annuelles des stocks de C de tous les pools et toutes les sources de C ; et
- Estimation des émissions annuelles de gaz sans CO₂ de tous les pools et toutes les sources.

Les variations des stocks de carbone des *terres cultivées restant terres cultivées* sont estimées à l'aide de l'équation 2.3.

5.2.1 Biomasse

5.2.1.1 CHOIX DE LA METHODE

Le carbone peut être stocké dans la biomasse des terres cultivées à végétation ligneuse vivace, y compris, mais sans limitation, des monocultures de type plantations de caféiers, palmiers à huile, cocotiers et hévéas, vergers de fruits et noix, et des polycultures telles que les systèmes agroforestiers. La méthodologie par défaut pour l'estimation des variations des stocks de carbone de la biomasse ligneuse est décrite à la section 2.2.1 du chapitre 2. La présente section est une élaboration de cette méthodologie par rapport à l'estimation des variations des stocks de carbone de la biomasse des *terres cultivées restant terres cultivées*.

Les variations de la biomasse sont également estimées pour les cultures ligneuses vivaces. Pour les cultures annuelles, on suppose que l'augmentation des stocks de biomasse au cours d'une année est égale aux pertes dues aux récoltes et à la mortalité la même année – en conséquence il n'y a pas d'accumulation de stocks de carbone de la biomasse.

Les variations du carbone de la biomasse des terres cultivées (ΔC_{CC_B}) peuvent être estimées à partir : (a) des taux annuels de gains et pertes de biomasse (équation 2.7, chapitre 2) ou (b) des stocks de carbone à deux points temporels différents (équation 2.8, chapitre 2). La première approche (méthode gains-pertes) représente la méthode de niveau 1 par défaut mais peut également être employée aux niveaux 2 et 3 en la raffinant ainsi que décrit ci-après. La seconde approche (méthode de différence des stocks) s'applique aux niveaux 2 ou 3, mais pas au niveau 1. Conformément aux *bonnes pratiques*, pour améliorer les inventaires on emploiera la méthode de niveau le plus élevé en fonction des possibilités et des circonstances nationales. Les *bonnes pratiques* exigent que les pays où les émissions et absorptions de carbone sur les terres *cultivées restant terres cultivées* sont une catégorie clé et où la sous-catégorie de biomasse est considérée comme significative utilisent des méthodes de niveaux 2 ou 3. Conformément aux bonnes pratiques, les pays s'aideront du diagramme décisionnel de la figure 2.2 du chapitre 2 pour identifier le niveau approprié d'estimation des variations des stocks de carbone de la biomasse.

¹ Les pays utilisant des méthodes de niveau plus élevé pourront utiliser des laps de temps différent en fonction du temps nécessaire à leurs stocks de carbone pour retrouver l'équilibre après un changement d'affectation des terres.

Niveau 1

Suivant la méthode par défaut, on multiplie la superficie de terres cultivées ligneuses vivaces par l'estimation nette d'accumulation de biomasse due à la croissance, et on soustrait les pertes associées aux récoltes, à la collecte ou aux perturbations (voir équation 2.7 au chapitre 2). Les pertes sont estimées en multipliant une valeur du stock de carbone par la superficie de terres cultivées sur laquelle les cultures ligneuses vivaces sont récoltées.

Les hypothèses de niveau 1 par défaut sont les suivantes : tout le carbone de la biomasse ligneuse vivace extraite (soit, la biomasse ôtée et replantée en une culture différente) est émis durant l'année de l'extraction ; les cultures ligneuses vivaces accumulent le carbone pendant une période égale au cycle de récoltes/maturité nominal. Autre hypothèse : les cultures ligneuses vivaces accumulent de la biomasse pendant une période finie, jusqu'à l'extraction par récoltes ou jusqu'à ce qu'elles atteignent un niveau stable où il n'y a pas d'accumulation nette de carbone dans la biomasse parce que le taux de croissance a ralenti et que les gains dus à la croissance s'équilibrent avec les pertes dues à la mortalité naturelle, l'émondage et autres pertes.

Pour le niveau 1, les facteurs par défaut se trouvent au tableau 5.1, et s'appliquent aux estimations dérivées nationalement des superficies de terres.

Niveau 2

Deux méthodes de niveau 2 sont fournies pour estimer les variations de la biomasse. La méthode 1 (également nommée méthode gains-pertes), par laquelle on soustrait les pertes de carbone de la biomasse de l'accroissement du carbone de la biomasse pour l'année d'inventaire (équation 2.7 au chapitre 2). La méthode 2 (également nommée méthode de différence des stocks), pour laquelle il faut effectuer des inventaires des stocks de carbone de la biomasse pour une affectation des terres donnée à deux points temporels différents (équation 2.8, chapitre 2).

Le niveau 2 permettra en général d'élaborer des estimations des principaux types de cultures ligneuses par zones climatiques, à l'aide des taux d'accumulation du carbone et des pertes des stocks spécifiques au pays, si possible, ou des estimations spécifiques au pays des stocks de carbone à deux points temporels différents. Au niveau 2, les variations des stocks de carbone sont estimées pour la biomasse aérienne et souterraine de la végétation ligneuse vivace. Pour les méthodes de niveau 2, il faudra disposer d'estimations spécifiques au pays ou à la région des stocks de biomasse par grands types de terres cultivées et de systèmes d'exploitation, et d'estimations des variations des stocks en tant que fonctions d'un système d'exploitation majeur (par exemple, cultures dominantes, gestion de la productivité). Si possible, conformément aux *bonnes pratiques* les pays incorporeront les variations des cultures vivaces ou de la biomasse des arbres à l'aide de données spécifiques au pays ou à la région. Les pays qui en ont besoin pourront utiliser des données par défaut.

Niveau 3

Au niveau 3, on utilise une approche de niveau 2 très désagrégée ou une méthode spécifique au pays avec une modélisation des processus et/ou des mesures précises. On pourra choisir le niveau 3 si l'on dispose de systèmes d'établissement des inventaires utilisant des échantillonnages statistiques des stocks de carbone dans le temps, et/ou des modèles de processus, stratifiés par climat, type de terres cultivées et régimes d'exploitation. Par exemple, les modèles de croissance spécifiques à des espèces et validés, qui incorporent les effets de la gestion comme les récoltes et l'apport d'engrais avec des données correspondant aux activités d'exploitation, pourront être utilisés pour estimer les variations nettes des stocks de carbone de la biomasse des terres cultivées dans le temps. Les modèles, qui pourront être accompagnés de mesures comme pour les inventaires forestiers, peuvent être utilisés pour estimer les variations des stocks et extrapoler à toute la superficie de terres cultivées, comme au niveau 2.

Pour sélectionner un modèle approprié, il faudra veiller à ce qu'il soit capable de représenter toutes les pratiques d'exploitation représentées dans les données sur les activités. Il est essentiel que le modèle soit validé par des observations indépendantes sur le terrain (au niveau du pays ou de la région) et représentatives du climat, des sols et des systèmes d'exploitation des terres cultivées du pays.

5.2.1.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSION

Les facteurs d'émissions et absorptions requis pour l'estimation des variations des stocks de carbone comprennent (a) le taux de croissance ou d'accumulation de la biomasse annuel, et (b) les facteurs de pertes de la biomasse, influencés par des activités comme l'extraction (récoltes), la collecte de bois de chauffage et les perturbations.

Taux de croissance de la biomasse ligneuse aérienne**Niveau 1**

Les tableaux 5.1 à 5.3 présentent des estimations des stocks de biomasse, des taux de croissance de la biomasse et des pertes pour les principales régions climatiques et systèmes agricoles. Toutefois, étant données les grandes

variations en matière de systèmes culturaux, y compris les arbres et les cultures d'arbres, les bonnes pratiques exigent que l'on cherche des données nationales sur le taux de croissance de la biomasse ligneuse aérienne.

Niveau 2

Les données sur le taux de croissance annuelle de la biomasse ligneuse peuvent être basées sur des sources de données nationales sur différents systèmes agroforestiers et culturaux, à des échelles plus fines ou désagrégées. Les taux de variation du taux de croissance annuelle de la biomasse ligneuse devront être estimés pour suivre les variations des activités d'affectation/gestion des terres (par exemple, apport d'engrais, récoltes, élagage). Il faudra comparer les résultats obtenus de recherches sur le terrain aux estimations de la croissance de la biomasse obtenues par d'autres sources afin de vérifier qu'ils entrent dans les plages documentées. Lors de l'estimation du taux d'accumulation de la biomasse, il est important de savoir que les taux de croissance de la biomasse concerneront principalement les 20 années suivant un changement de gestion ; après quoi les taux auront tendance à atteindre un niveau stable comptant peu voir pas de changements, à moins que d'autres changements de gestion ne soient introduits.

Niveau 3

Le niveau 3 requiert des facteurs d'accumulation de la biomasse très désagrégés, par exemple, une catégorisation par espèces, spécifiquement pour les modèles de croissance incorporant les impacts de la gestion comme les récoltes ou l'apport d'engrais. Il faudra aussi mesurer la biomasse aérienne, comme pour les inventaires forestiers, avec des mesures périodiques de l'accumulation de la biomasse aérienne.

TABLEAU 5.1
COEFFICIENTS PAR DEFAUT POUR LA BIOMASSE LIGNEUSE AERIENNE ET LES CYCLES DE RECOLTES DES SYSTEMES DE CULTURES A ESPECES VIVACES

Région climatique	Stocks de carbone de la biomasse aérienne à la récolte (tonnes C ha ⁻¹)	Cycle récolte/maturité (années)	Taux d'accumulation de la biomasse (A) (tonnes C ha ⁻¹ an ⁻¹)	Pertes de carbone de la biomasse (P) (tonnes C ha ⁻¹ an ⁻¹)	Page d'erreur ¹
Tempérée (tous les régimes hygrométriques)	63	30	2,1	63	± 75%
Tropicale, sèche	9	5	1,8	9	± 75%
Tropicale, humide	21	8	2,6	21	± 75%
Tropicale, pluvieuse	50	5	10,0	50	± 75%

Note : Les valeurs proviennent de l'étude et de la synthèse publiées par Schroeder (1994).
¹ Représente une estimation d'erreur nominale, équivalente à deux fois l'écart type, en tant que pourcentage de la moyenne.

TABLEAU 5.2
STOCKAGE POTENTIEL DE C POUR DES SYSTEMES AGROFORESTIERS DE DIFFERENTES ECOREGIONS DU MONDE

Région	Écorégion	Système	Biomasse aérienne (tonnes ha ⁻¹)	Plage (tonnes ha ⁻¹)
Afrique	Humide tropicale élevée	Agrosylvocultural	41,0	29 - 53
Amérique du S	Humide tropicale basse	Agrosylvocultural	70,5	39 - 102
Amérique du S	Sèche basses terres	Agrosylvocultural	117,0	39 - 195
Asie du SE	Humide tropicale	Agrosylvocultural	120,0	12 - 228
Asie du SE	Sèche basses terres	Agrosylvocultural	75,0	68 - 81
Australie	Humide tropicale	Sylvopastoral	39,5	28 - 51
Amérique du N	Humide tropicale élevée	Sylvopastoral	143,5	133 - 154
Amérique du N	Humide tropicale basse	Sylvopastoral	151,0	104 - 198
Amérique du N	Sèche basses terres	Sylvopastoral	132,5	90 - 175
Asie du N	Humide tropicale basse	Sylvopastoral	16,5	15 - 18

Source : Albrecht et Kandji, 2003

TABLEAU 5.3					
BIOMASSE AERIENNE PAR DEFAUT POUR DIFFERENTS TYPES DE TERRES CULTIVEES VIVACES (TONNES HA⁻¹)					
Type de terre cultivée	Région	Biomasse aérienne	Plage	Erreur	Références
Palmiers à huile	Asie du SE	136,0	62 - 202	78	
Hévéas matures	Asie du SE	178,0		90	Palm <i>et al.</i> , 1999
Hévéas jeunes	Asie du SE	48,0	16 - 80		Wasrin <i>et al.</i> , 2000
Cannelle jeune (7 ans)	Asie du SE	68,0		47	Siregar & Gintings, 2000
Cocotier	Asie du SE	196,0			Lasco <i>et al.</i> , 2002
Rotation améliorée					
Rotation bisannuelle	Afrique de l'E	35,0	27 - 44	40	Albrecht et Kandji, 2003
Rotation annuelle	Afrique de l'E	12,0	7 - 21	89	Albrecht et Kandji, 2003
Rotation tous les 6 ans (moyenne)	Asie du SE	16,0	4 - 64		Lasco et Suson, 1999
Cultures en allées	Asie du SE	2,9	1,5 – 4,5	105	Lasco <i>et al.</i> , 2001
Système pluriétagé					
Hévéas de jungle	Asie du SE	304,0		17	Tomich <i>et al.</i> , 1998
Gmelina-cacao	Asie du SE	116,0		53	Lasco <i>et al.</i> , 2001

Accumulation de biomasse souterraine

Niveau 1

Selon l'hypothèse par défaut, il n'y a pas de variations dans la biomasse souterraine des arbres vivaces des systèmes agricoles. Aucune valeur par défaut n'est donc disponible pour la biomasse souterraine des systèmes agricoles.

Niveau 2

Le niveau 2 requiert l'utilisation de données sur la biomasse souterraine mesurées sur le terrain à partir de la végétation ligneuse vivace. Pour les calculs de niveau 2, on recommande d'estimer l'accumulation de biomasse souterraine. Les rapports système racinaire/système foliacé montrent qu'il existe de grandes différences de valeurs au niveau des espèces individuelles (par exemple, Anderson *et al.*, 1972) et des échelles communautaires (par exemple, Jackson *et al.*, 1996 ; Cairns *et al.*, 1997). Étant donné que les connaissances au sujet de la biomasse souterraine sont limitées, il faudra autant que possible calculer de manière empirique les rapports système racinaire/système foliacé spécifiques à la région ou au type de végétation.

Niveau 3

Au niveau 3, on utilisera des données tirées de recherches sur le terrain, comme pour les inventaires forestiers, et des modélisations en cas d'adoption de la méthode de différence des stocks.

Pertes de biomasse dues à l'extraction, la collecte de bois de chauffage et aux perturbations

Niveau 1

On suppose par défaut que toute la biomasse perdue est émise dans l'année. Pour les terres cultivées, aucune donnée n'existe sur les pertes dues à l'extraction de biomasse, la collecte de bois de chauffage et aux perturbations. La FAO fournit des données sur la consommation totale de bois rond et de bois de chauffage, mais elles ne sont pas classées par source (terres cultivées, terres forestières, etc.). En outre, les statistiques sur le bois de chauffage sont extrêmement pauvres et incertaines de par le monde. Les statistiques par défaut sur l'extraction et la collecte de bois de chauffage (voir section 4.2, chapitre 4) peuvent inclure la biomasse des terres cultivées, par exemple lorsque le bois de chauffage est récolté dans des jardins privés. Il faut donc veiller à ne pas double compter les pertes. Si aucune donnée n'existe pour le bois rond ou le bois de chauffage des terres cultivées, l'approche par défaut inclura les pertes des terres forestières (section 4.2) mais exclura les pertes des terres cultivées.

Niveaux 2 et 3

Pour estimer les pertes de biomasse, on pourra utiliser des données nationales plus fines, basées sur des inventaires de recherches ou des études menées sur la production et la consommation de diverses sources, y compris les systèmes agricoles. Ces données peuvent être obtenues par diverses méthodes, par exemple en estimant la densité (couvert forestier) de la végétation ligneuse à partir de photos aériennes (ou d'images satellites à haute résolution) et de mesures de parcelles sur le terrain. La composition des espèces, la densité et le rapport biomasse souterraine/biomasse aérienne peuvent beaucoup varier en fonction des types de terres cultivées et des conditions ; il pourra donc être plus efficace de stratifier les échantillons et les parcelles étudiées par types de terres cultivées. Des recommandations générales sur les techniques d'enquête et d'échantillonnage pour les inventaires de biomasse sont fournies à l'annexe 3A.3 du chapitre 3.

5.2.1.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Dans la présente section, les données sur les activités concernent les estimations de superficies de terres correspondant à des stocks en croissance et des terres récoltées de cultures ligneuses vivaces. Les données des superficies sont estimées à l'aide des approches décrites au chapitre 3 et doivent être considérées comme des strates de la superficie totale des terres cultivées (pour que les données sur les affectations des terres restent cohérentes), et désagrégées en fonction du niveau employé et de la disponibilité des facteurs de croissance et de pertes. Des exemples de sous-catégories de terres cultivées sont donnés au tableau 5.4.

TABLEAU 5.4
EXEMPLES DE SOUS-CATEGORIES DE TERRES CULTIVEES VIVACES POUVANT EXISTER DANS UN PAYS

Grande sous-catégorie	Sous-catégorie spécifique
Vergers	Mangues, agrumes, pommes
Cultures de plantation	Hévéas, cocotiers, palmiers à huile, caféiers, cacaoyers
Systèmes agroforestiers	Culture à haies (allées), rotation améliorée, système pluriétagé, jardin privé, haie frontalière, brise-vent

Niveau 1

Au niveau 1, on utilise des enquêtes annuelles ou périodiques pour mettre en place les approches soulignées au chapitre 3, et estimer la superficie annuelle moyenne de cultures ligneuses vivaces établies et la superficie annuelle moyenne de cultures ligneuses vivaces récoltées ou extraites. Les estimations de superficie sont ensuite subdivisées en régions climatiques ou types de sols généraux correspondant aux valeurs par défaut de gains et pertes de biomasse. Pour un calcul de niveau 1, on peut utiliser des statistiques internationales comme les bases de données de la FAO et d'autres sources, pour estimer la superficie de terres soumise à cultures ligneuses vivaces.

Niveau 2

Au niveau 2, il faudra disposer d'enquêtes périodiques ou annuelles plus précises pour estimer les superficies de terres des différentes classes de cultures de biomasse ligneuse vivace. Les superficies sont ensuite classées en sous-catégories pertinentes pour que toutes les grandes combinaisons de types de cultures ligneuses vivaces et de régions climatiques soient représentées à chaque estimation de superficie. Les estimations de superficies devront correspondre aux valeurs de gains et de pertes de carbone de la biomasse spécifiques au pays et telles qu'élaborées pour la méthode de niveau 2. Si le pays ne dispose que de certaines données plus fines spécifiques au pays, il devra chercher à extrapoler pour couvrir toute la base de terres des cultures ligneuses vivaces à l'aide d'hypothèses raisonnables formulées à partir des meilleures connaissances possibles.

Niveau 3

Au niveau 3, on devra disposer de données de haute résolution sur les activités, désagrégées au niveau sub-national en grilles fines. Comme au niveau 2, la superficie de terres est classée par types spécifiques de cultures ligneuses vivaces puis par grandes catégories de sols et de climats et autres variables régionales potentiellement importantes (par exemple, schémas régionaux des pratiques de gestion). En outre, conformément aux *bonnes pratiques* on liera les estimations de superficies spatialement explicites aux estimations locales d'accroissement de la biomasse, de taux de pertes et de pratiques de gestion afin d'améliorer l'exactitude des estimations.

5.2.1.4 ÉTAPES DE CALCUL AUX NIVEAUX 1 ET 2

Résumé des étapes d'estimation des variations des stocks de carbone de la biomasse des terres cultivées restant terres cultivées (ΔC_B) à l'aide des méthodes de niveaux 1 et 2

À l'aide des feuilles de travail des terres cultivées (voir annexe 1 – Feuilles de travail AFAT), calculer les variations des stocks de carbone de la biomasse des *terres cultivées restant terres cultivées* :

Étape 1 : Incrire les sous-catégories de terres cultivées pour l'année d'inventaire

En général, tous les pays présentent plusieurs types de terres cultivées au couvert ligneux vivace dont les stocks de biomasse et l'accroissement varient. Par exemple, des vergers (mangues, agrumes, etc.), des plantations agricoles (cocotiers, hévéas, etc.) et des exploitations agroforestières.

Étape 2 : Incrire la superficie annuelle de biomasse ligneuse vivace sur terres cultivées pour chaque sous-catégorie

D'ordinaire, on peut obtenir la superficie (S) en hectares de chaque sous-catégorie de terres cultivées auprès des agences nationales pour les affectations des terres et du ministère de l'Agriculture et des ressources naturelles. Les données pourront être tirées d'images satellites, photographies aériennes et enquêtes sur le terrain, plus base de données de la FAO.

Étape 3 : Inscrire les stocks de carbone annuels moyens de l'accumulation de biomasse (en tonnes C ha an⁻¹) de la biomasse ligneuse vivace pour chaque sous-catégorie.

Le taux de croissance annuel (ΔC_{Cce}) de chaque sous-catégorie de terres cultivées, tirés des taux d'accumulation de la biomasse (A) au tableau 5.1, sont inscrits dans la colonne des feuilles de travail leur correspondant.

Étape 4 : Inscrire les stocks de carbone annuels des pertes de biomasse (en tonnes C ha an⁻¹) pour chaque sous-catégorie.

S'il y a eu des récoltes, la quantité de stocks de carbone de la biomasse récoltée (ΔC_p) est inscrite dans la colonne lui correspondant. Cette quantité peut être estimée en multipliant la biomasse ligneuse aérienne par défaut de diverses terres cultivées (voir tableau 5.3) par la densité de carbone par défaut de 0,5 tonnes C/tonne biomasse.

Étape 5 : Calculer les variations annuelles des stocks de carbone de la biomasse pour chaque sous-catégorie.

Les variations annuelles des stocks de carbone de la biomasse (ΔC_B) sont calculées à l'aide de l'équation 2.7 du chapitre 2.

Étape 6 : Calculer les variations totales des stocks de carbone (ΔC_B) en ajoutant toutes les valeurs estimées des sous-catégories.

Exemple 1 : Au cours de l'année d'inventaire, 90 000 hectares de cultures ligneuses vivaces sont cultivés dans un environnement tropical humide, et 10 000 ha sont récoltés. La superficie de terres cultivées vivaces immatures accumule le carbone à un taux d'environ 2,6 tonnes de C aérien ha⁻¹ an⁻¹. La superficie récoltée perd tout le carbone des stocks de biomasse pendant l'année de l'extraction. Les pertes du stock de carbone par défaut pour des terres cultivées ligneuses vivaces humides sont de 21 tonnes C ha⁻¹ an⁻¹. Prenant en compte ces valeurs, on estime que 234 000 tonnes de C sont accumulées par an, et que 210 000 tonnes C sont perdues. À l'aide de l'équation 2.7 du chapitre 2, on calcule que les variations nettes des stocks de carbone (aériens) de l'environnement tropical humide sont de 24 000 tonnes C an⁻¹.

5.2.1.5 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

La présente section propose des recommandations sur les différentes approches à l'évaluation des incertitudes associées aux estimations du carbone de la biomasse pour tous les niveaux de méthodes.

Niveau 1

Lorsqu'on utilise une méthode de niveau 1, les incertitudes proviendront notamment du degré d'exactitude des estimations des superficies de terres (voir chapitre 3) et des taux de pertes et d'accroissement du carbone de la biomasse par défaut. Les incertitudes seront certainement basses (< 10 %) pour les estimations de superficies soumises à différents systèmes culturaux car la plupart des pays estiment annuellement leurs superficies de terres cultivées à l'aide de méthodes fiables. Les données par défaut du tableau 5.1 sont tirées d'un inventaire publié des recherches effectuées sur les stocks de carbone des systèmes agroforestiers (Schroeder, 1994). Les valeurs par défaut sont tirées de plusieurs études, mais la publication ne précise pas leurs plages d'incertitude. En conséquence, les experts ont estimé que le niveau d'incertitude par défaut était de $\pm 75\%$ de la valeur du paramètre. Pour évaluer les incertitudes des estimations des émissions et absorptions de carbone de la biomasse des terres cultivées à l'aide de la méthode de niveau 1, on pourra utiliser cette information en lien avec les mesures des incertitudes relatives aux estimations des superficies tirées du chapitre 3 du présent rapport. Les recommandations relatives à l'analyse des incertitudes se trouvent au chapitre 3 du volume 1.

Niveau 2

Utiliser une méthode de niveau 2 permettra de réduire les incertitudes générales car les taux des facteurs d'émissions et absorptions spécifiques au pays fourniront des estimations plus exactes des gains et pertes de carbone des systèmes culturaux et des régions climatiques du pays. Conformément aux bonnes pratiques, on effectuera des estimations des erreurs (soit, déviations, erreurs ou plages types) pour les taux d'accroissement du carbone spécifiques au pays et on utilisera ces variables pour évaluer les incertitudes de manière basique. Selon les *bonnes pratiques*, les pays évalueront les plages d'erreurs de coefficients spécifiques au pays et les compareront à celles des coefficients d'accumulation du carbone par défaut. Si les taux spécifiques au pays

présentent des plages d'erreur égales ou supérieures aux coefficients par défaut, les *bonnes pratiques* seront d'employer une approche de niveau 1 et de mieux affiner les taux spécifiques au pays en faisant de nouvelles mesures de terrain.

Aux approches de niveau 2, on pourra aussi utiliser des données sur les activités de meilleure résolution, comme des estimations de superficies des différentes régions climatiques ou des systèmes culturaux spécifiques du pays. Utiliser des données de meilleure résolution permettra de réduire encore les niveaux d'incertitude lorsqu'on les associera à des facteurs d'accroissement du carbone de la biomasse d'échelle plus fine, définis pour ces bases de terres (par exemple lorsque les superficies de plantations de caféiers sont multipliées par le coefficient des plantations de caféiers, plutôt que par un coefficient agroforestier par défaut.)

Niveau 3

Par rapport aux niveaux 1 et 2, les approches de niveau 3 produiront le meilleur niveau de certitude. Selon les *bonnes pratiques*, on calculera les déviations, erreurs ou plages types de tous les taux de pertes et gains de biomasse définis par les pays. Conformément aux *bonnes pratiques*, les pays tacheront d'élaborer des courbes de densité de probabilité pour les paramètres des modèles à utiliser pour les simulations Monte Carlo. Pour les systèmes culturaux, l'incertitude sera probablement moindre, voire absente, notamment pour les estimations des superficies.

5.2.2 Matière organique morte

La présente section traite des méthodes d'estimation des variations des stocks de carbone associées aux pools de matière organique morte des *terres cultivées restant terres cultivées* (CC). Les méthodes fournies concernent deux types de pools de matière organique morte : 1) le bois mort et 2) la litière. Ces pools sont définis précisément au chapitre 1 du présent rapport.

Le bois mort est un pool varié, présentant de nombreux problèmes pratiques relatifs aux mesures sur le terrain et aux incertitudes associées des taux de transfert à la litière, au sol, ou des émissions vers l'atmosphère. Le carbone du bois mort est très variable entre les peuplements d'un paysage. Les quantités de bois mort dépendent du moment de la dernière perturbation, de la quantité d'entrées (mortalité) au moment de la perturbation, des taux de mortalité naturelle, des taux de décomposition et de la gestion.

L'accumulation de litière dépend de la quantité annuelle de chute de litière, y compris toutes les feuilles, brindilles et petites branches, foin, fruits, fleurs, et écorce, moins le taux annuel de décomposition. La masse de litière est également influencée par le temps écoulé depuis la dernière perturbation, et le type de perturbation. Les pratiques de gestion telles que la récolte de bois et d'herbe, le brûlage et la pacage altèrent énormément les propriétés de la litière, mais peu d'études existent sur l'impact spécifique de la gestion sur le carbone de la litière.

En général, les terres cultivées présentent peu de bois mort, de résidus de récoltes ou de litière – voire pas du tout –, sauf dans les systèmes agroforestiers qui peuvent entrer dans les catégories terres cultivées ou terres forestières, en fonction des définitions adoptées par le pays pour l'établissement des rapports.

5.2.2.1 CHOIX DE LA METHODE

Le diagramme décisionnel présenté à la figure 2.3 du chapitre 2 fournit des recommandations sur la sélection du niveau approprié pour la procédure d'estimation. Pour estimer les variations des stocks de carbone de la MOM, on devra estimer les variations des stocks de bois mort et de litière (voir équation 2.17 au chapitre 2).

Tous les pools de MOM (bois mort et litière) doivent être traités séparément, mais pour déterminer les variations de chaque pool, la méthode est la même.

Niveau 1

À la méthode de niveau 1, on suppose que les stocks de litière et de bois mort sont absents des terres cultivées ou à l'équilibre dans les systèmes agroforestiers et vergers. Il n'est donc pas nécessaire d'estimer les variations des stocks de carbone de ces pools.

Niveaux 2 et 3

Aux niveaux 2 et 3, on calcule les variations du carbone de la litière et du bois mort imputables aux pratiques de gestion. Deux méthodes sont fournies pour estimer les variations des stocks de carbone de la MOM.

Méthode 1 (également nommée **méthode gains-pertes**, voir équation 2.18 au chapitre 2) : avec la méthode 1, on doit estimer la superficie des catégories de gestion des terres cultivées et le transfert annuel moyen vers les stocks de litière et de bois mort et en provenance de ceux-ci. Il faut donc estimer la superficie de *terres cultivées restant terres cultivées* par : i) différents types de climats ou de terres cultivées ; ii) régimes de gestion, ou autres facteurs affectant significativement les pools de carbone de la litière et du bois mort ; et iii) quantité de biomasse

transférée aux stocks de litière et de bois mort, et quantité de biomasse transférée depuis les stocks de litière et de bois mort, par hectare et en fonction de différents types de terres cultivées.

Méthode 2 (également nommée **méthode de différence des stocks**, voir équation 2.19 au chapitre 2) : avec la méthode 2, on doit estimer la superficie de terres cultivées et les stocks de litière et de bois mort à deux points temporels différents, t_1 et t_2 . Les variations des stocks de litière et de bois mort pendant l'année d'inventaire sont obtenues en divisant les variations des stocks par la période (années) écoulée entre les deux mesures. La méthode 2 est utilisable par les pays disposant d'inventaires périodiques. Elle correspond mieux aux pays ayant choisi des méthodes de niveau 3. Les méthodes de niveau 3 sont utilisées par les pays qui disposent de facteurs d'émissions spécifiques et de données nationales. Les pays définissant leur propre méthodologie pourront se baser sur des inventaires précis de parcelles échantillons permanentes correspondant à leurs terres cultivées, et/ou des modèles.

5.2.2.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSION/ABSORPTION

Fraction de carbone : La fraction de carbone du bois mort et de la litière est variable et dépend de l'état de décomposition. Le bois est beaucoup moins variable que la litière ; on peut employer une valeur de 0,50 tonne C (tonne m.s.)⁻¹ pour la fraction de carbone.

Niveau 1

Au niveau 1, l'hypothèse est que les stocks de carbone de la MOM de toutes les *terres cultivées restant terres cultivées* sont insignifiants ou invariables et qu'en conséquence, il n'est pas nécessaire d'avoir des données sur les activités et des facteurs d'émissions/absorptions. Les pays dans lesquels il y a beaucoup de changements au niveau de la gestion des terres cultivées ou de perturbations affectant probablement les pools de MOM devront rassembler des données nationales de manière à pouvoir en quantifier l'impact et passer à des estimations de niveaux 2 ou 3.

Niveau 2

Selon les *bonnes pratiques*, on utilisera des données nationales sur la MOM de différentes catégories de terres cultivées, en plus des valeurs par défaut, si l'on ne dispose pas de valeurs spécifiques au pays ou à la région pour toutes les catégories de terres cultivées. Les valeurs spécifiques au pays sur le transfert de carbone d'arbres vivants récoltés aux résidus de récoltes, sur les taux de décomposition (lorsqu'on a choisi la méthode 1) ou les variations nettes des pools de MOM (pour la méthode 2) pourront être tirées de données spécifiques au pays prenant en compte le type de terres cultivées, le taux d'utilisation de la biomasse, les pratiques de récoltes et la quantité de végétation endommagée lors des récoltes.

Niveau 3

Au niveau 3, les pays devront se doter de méthodologies et de paramètres propres pour estimer les variations de la MOM. Ces méthodologies pourront être tirées des méthodes 1 ou 2 décrites plus haut, ou se baser sur d'autres approches, mais la méthode choisie devra toujours être documentée précisément.

Pour estimer le carbone de la MOM à un niveau désagrégé national, on devra employer un inventaire national des terres cultivées, des modèles nationaux, ou un programme d'inventaire des gaz à effet de serre spécifique, avec des échantillonnages périodiques suivant les principes présentés à l'annexe 3A.3 du chapitre 3. Les données des inventaires pourront être associées à des études de modélisation qui capturent la dynamique de tous les pools de carbone des terres cultivées.

5.2.2.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Les données sur les activités comprennent les superficies des *terres cultivées restant terres cultivées* résumées par grands types de terres cultivées et de pratiques de gestion. La superficie totale des terres cultivées devra correspondre à celle des autres sections du présent chapitre, notamment la section sur la biomasse des *terres cultivées restant terres cultivées*. Il sera plus facile d'évaluer les variations de la MOM si on lie ces informations à des données nationales sur les sols, le climat, la végétation et autres caractéristiques géophysiques.

5.2.2.4 ÉTAPES DE CALCUL AUX NIVEAUX 1 ET 2

Les étapes suivantes résument l'estimation des variations des stocks de carbone de la MOM

Niveau 1

Pas besoin de données sur les activités car on suppose que les pools de MOM sont stables.

Niveau 2 (méthode gains-pertes) – équation 2.18 au chapitre 2

Tous les pools de MOM (bois mort et litière) doivent être traités séparément, mais la méthode est la même.

Étape 1 : Déterminer les catégories ou types de terres cultivées et systèmes de gestion à utiliser pour l'évaluation, et la superficie représentative. Les données des superficies sont obtenues à l'aide des méthodes décrites au chapitre 3.

Étape 2 : Déterminer les variations nettes des stocks de MOM pour chaque catégorie. Identifier les valeurs des entrées et sorties moyennes du bois mort et de la litière pour chaque catégorie, à l'aide d'inventaires ou d'études scientifiques. Les pays devront utiliser les données locales qui sont disponibles sur les entrées et sorties de ces pools. Calculer les variations nettes des pools de MOM en soustrayant les sorties des entrées. Une valeur négative indiquera une diminution nette du stock.

Étape 3 : Déterminer les variations nettes des stocks de carbone de la MOM pour chaque catégorie, en fonction de l'étape 2. Multiplier les variations des stocks de MOM par la fraction de carbone du bois mort et de la litière afin de déterminer les variations nettes des stocks de carbone du bois mort. La valeur par défaut est de 0,50 tonne C (tonne m.s.)⁻¹ pour le bois mort et 0,40 tonne C (tonne m.s.)⁻¹ pour la litière.

Étape 4 : Déterminer les variations totales des pools de carbone de la MOM à chaque catégorie en multipliant la superficie représentative de chaque catégorie par les variations nettes des stocks de carbone de la MOM de la catégorie en question.

Étape 5 : Déterminer les variations totales des stocks de carbone de la MOM en additionnant les variations totales de la MOM de toutes les catégories.

Niveau 2 (méthode de différence des stocks) – équation 2.19 au chapitre 2

Les pools de MOM doivent être traités séparément, mais la méthode est la même pour tous les pools.

Étape 1 : Déterminer les catégories à évaluer et les superficies représentatives, comme à la méthode 1.

Étape 2 : Déterminer les variations nettes des stocks de MOM pour chaque catégorie. En utilisant les données d'inventaires, identifier l'intervalle temporel de l'inventaire, le stock moyen de MOM lors de l'inventaire initial (t_1), et le stock moyen de MOM lors de l'inventaire final (t_2). Utiliser ces chiffres pour calculer les variations annuelles nettes des stocks de MOM en soustrayant le stock de MOM au point temporel t_1 du stock de MOM au point temporel t_2 et en divisant cette différence par l'intervalle de temps. Une valeur négative indiquera une diminution du stock de MOM.

Étape 3 : Déterminer les variations nettes des stocks de carbone de la MOM pour chaque catégorie. Déterminer les variations nettes des stocks de carbone de la MOM en multipliant les variations nettes des stocks de MOM de chaque catégorie par la fraction de carbone de la MOM. La valeur par défaut est de 0,50 tonne C (tonne m.s.)⁻¹ pour le bois mort et 0,40 tonne C (tonne m.s.)⁻¹ pour la litière. À l'approche de niveau 3, il faudra disposer de facteurs d'expansion spécifiques au pays ou à l'écosystème. À l'approche de niveau 2, on pourra employer des facteurs d'expansion par défaut et de niveau national.

Étape 4 : Déterminer les variations totales des pools de carbone de la MOM à chaque catégorie en multipliant la superficie représentative de chaque catégorie par les variations nettes des stocks de carbone de la MOM de la catégorie en question.

Étape 5 : Déterminer les variations totales des stocks de carbone de la MOM en additionnant les variations totales de la MOM de toutes les catégories d'activités.

5.2.2.5 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Au niveau 1, on n'effectue pas d'estimation des incertitudes, car les stocks de MOM sont supposés être stables. Aux niveaux 2 et 3, en revanche, les données sur les superficies et les estimations des incertitudes devront être calculées à l'aide des méthodes présentées au chapitre 3. L'accumulation du carbone et les facteurs de pertes devront être évalués au niveau local.

5.2.3 Carbone des sols

La gestion des terres cultivées modifie les stocks de C des sols à différents degrés, en fonction de la manière dont les pratiques spécifiques influencent les entrées et sorties de C du système des sols (Paustian *et al.*, 1997 ; Bruce *et al.*, 1999 ; Ogle *et al.*, 2005). Les principales pratiques de gestion influençant les stocks de C des sols des terres cultivées sont les types de gestion des résidus, la gestion du travail du sol, la gestion des apports d'engrais (engrais minéraux ou amendements organiques), le choix de culture et l'intensité de la gestion culturale (cultures

en continu ou rotations avec périodes creuses, par exemple), la gestion de l'irrigation, et les systèmes mixtes introduisant des cultures et des pâturages ou du foin par rotations. En outre, le drainage et la culture des sols organiques entraînent une réduction des stocks de C des sols (Armentano et Menges, 1986).

Des informations et recommandations générales sur l'estimation des variations des stocks de C des sols se trouvent à la section 2.3.3 du chapitre 2 (avec des équations), et doivent être lues avant de passer aux lignes directrices spécifiques aux stocks de C des sols des terres cultivées. Les variations totales des stocks de C des sols des terres cultivées sont estimées à l'aide de l'équation 2.24 du chapitre 2, qui combine les variations des stocks de C organique des sols pour les sols minéraux et organiques, et les variations des stocks des pools de C inorganique des sols (niveau 3 uniquement). La présente section fournit des recommandations spécifiques pour l'estimation des variations des stocks de C organique des sols. Le C inorganique des sols est couvert à la section 2.3.3.1.

Pour comptabiliser les variations des stocks de C des sols associées aux *terres cultivées restant terres cultivées*, les pays devront disposer au minimum d'estimations de la superficie de terres cultivées au début et à la fin de la période d'inventaire. Si les données sur les affectations et la gestion des terres sont limitées, on pourra utiliser comme point de départ des données agrégées, comme les statistiques de la FAO sur les terres cultivées, et demander l'opinion d'experts sur la distribution approximative des systèmes de gestion des terres (systèmes culturaux à fortes, moyennes ou faibles entrées, etc.). Les types de gestion des terres cultivées sont stratifiées en fonction des régions climatiques et des principaux types de sols, en utilisant des classifications par défaut ou spécifiques au pays. Pour ce faire, on pourra superposer les affectations des terres avec des cartes des sols et des climats.

5.2.3.1 CHOIX DE LA METHODE

Les inventaires pourront être élaborés suivant des approches de niveau 1, 2 ou 3, chaque niveau requérant successivement plus de précisions et de ressources que le précédent. Certains pays emploieront différents niveaux pour préparer leurs estimations des diverses sous-catégories de C des sols (soit, variations des stocks du C organique des sols dans les sols minéraux et organiques, et variations des stocks associées aux pools de C inorganique des sols). La section 2.3.3.1 du chapitre 2 propose des diagrammes décisionnels pour les sols minéraux (figure 2.4) et les sols organiques (figure 2.5) afin d'aider les compilateurs d'inventaires à sélectionner le niveau approprié pour l'inventaire du C des sols de leur pays.

Sols minéraux

Niveau 1

Pour les sols minéraux, la méthode d'estimation se base sur les variations des stocks de C organique des sols pendant une période de temps donnée, suite à des changements de gestion influençant le C organique des sols. On utilise l'équation 2.25 (chapitre 2) pour estimer les variations des stocks de C organique des sols en soustrayant le stock de C de la dernière année de la période d'inventaire (COS_0) au stock de C du début de la période d'inventaire ($COS_{(0-T)}$) et en le divisant par la dépendance temporelle des facteurs de variation des stocks (D). En pratique, il faudra obtenir les données spécifiques au pays sur les affectations et la gestion des terres et les classer en systèmes de gestion des terres appropriés (cultures à fortes, moyennes ou faibles entrées, etc.) incluant la gestion du travail du sol, puis les stratifier conformément aux régions climatiques et types de sols du GIEC. Les stocks de C organique des sols (COS) sont estimés pour les stocks de carbone de référence par défaut au début et à la fin de la période d'inventaire (COS_{ref}) et les facteurs de variation des stocks par défaut (F_{Aff} , $F_{Gestion}$, F_E).

Niveau 2

Le niveau 2 emploie les mêmes équations de base que le niveau 1 (équation 2.25), mais incorpore des informations spécifiques au pays permettant de mieux spécifier les facteurs de variation des stocks, les stocks de C de référence, les régions climatiques, les types de sols et/ou le système de classification de la gestion des terres.

Niveau 3

Les approches de niveau 3 peuvent utiliser des modèles dynamiques et/ou des mesures d'inventaire du C des sols précises, comme bases d'estimation des variations des stocks annuelles. Les estimations basées sur des modèles sont calculées à l'aide d'équations couplées qui estiment les variations nettes du C des sols. Divers modèles existent (voir par exemple les études de McGill *et al.*, 1996 ; et Smith *et al.*, 1997). Pour sélectionner un modèle approprié, les critères clés comprennent ses capacités à représenter toutes les pratiques de gestion/systèmes pertinents aux terres cultivées, le fait que les entrées du modèle (soit, les variables de base) soient compatibles avec les données d'entrées nationales disponibles, et sa vérification par rapport à des données expérimentales.

On pourra également élaborer une approche de niveau 3 en employant une approche basée sur des mesures pour laquelle on utilisera les échantillons périodiques d'un réseau de surveillance permettant d'estimer les variations

des stocks du C organique des sols. Il faudra alors disposer d'une densité de sites référents beaucoup plus élevée qu'avec les modèles, afin de représenter correctement les combinaisons de systèmes d'affectations et de gestion des terres, les climats et les types de sols. La section 2.3.3.1 du chapitre 2 propose des recommandations supplémentaires.

Sols organiques

Niveau 1

L'équation 2.26 (chapitre 2) permet d'estimer les variations des stocks de C des sols organiques (par exemple, dérivés de la tourbe, ou histosols). La méthodologie de base est de stratifier les sols organiques cultivés par régions climatiques et d'assigner un taux de pertes de C annuelles spécifique au climat. Les superficies de terres sont ensuite multipliées par le facteur d'émissions puis additionnées afin d'estimer les émissions annuelles de C.

Niveau 2

Au niveau 2, la même équation de base est utilisée qu'au niveau 1 (équation 2.26), mais les informations spécifiques au pays sont incorporées afin de mieux spécifier les facteurs d'émissions, les régions climatiques et/ou le système de classification de la gestion des terres.

Niveau 3

Les approches de niveau 3 pour les sols organiques emploient des modèles dynamiques et/ou des réseaux de mesures, comme pour les sols minéraux (voir ci-dessus).

5.2.3.2 CHOIX DES FACTEURS D'ÉMISSIONS ET DE VARIATIONS DES STOCKS

Sols minéraux

Niveau 1

Les facteurs de variation des stocks par défaut pour l'affectation des terres (F_{Aff}), les entrées (F_E) et la gestion ($F_{Gestion}$) à la méthode de niveau 1 se trouvent au tableau 5.5. Les méthodes et études utilisées pour calculer les facteurs de variation des stocks par défaut sont présentées à l'annexe 5A.1 et dans les références. La période par défaut pour les variations des stocks (D) est de 20 ans et on suppose que les pratiques de gestion influencent les stocks à une profondeur de 30 cm, mesure également utilisée pour la profondeur des stocks de C des sols de référence au tableau 2.3 (chapitre 2).

Niveau 2

Au niveau 2, l'approche implique une estimation de facteurs de variation des stocks spécifiques au pays. Pour dériver les facteurs d'entrées (F_E) et de gestion ($F_{Gestion}$), on compare les données avec des entrées moyennes et un travail du sol intensif, respectivement, car ces pratiques sont considérées comme nominales dans la classification des pratiques de gestion du GIEC par défaut (voir *Choix des données sur les activités*). Selon les *bonnes pratiques*, on dérivera des valeurs permettant d'obtenir une classification plus fine de la gestion, du climat et des types de sols si l'on a rencontré des différences importantes de facteurs de variation des stocks des catégories plus désagrégées en faisant une analyse empirique. Pour une approche de niveau 2, les stocks de C de référence peuvent également être tirés des données spécifiques au pays. La section 2.3.3.1 du chapitre 2 propose des recommandations supplémentaires.

Niveau 3

Il est peu probable qu'on puisse estimer des facteurs de variation des stocks en soi constants, mais plutôt des taux variables qui captureront plus exactement les effets des affectations et de la gestion des terres. Lire à la section 2.3.3.1 (chapitre 2) une discussion plus élaborée du sujet.

Sols organiques

Niveau 1

Les facteurs d'émissions par défaut pour les sols organiques cultivés se trouvent au tableau 5.6. Pour attribuer des facteurs d'émissions aux systèmes d'arbres vivaces (comme les arbres fruitiers classés dans la catégorie terres cultivées), on pourra se baser sur les facteurs des sols organiques cultivés du tableau 5.6 ou des sols organiques de la gestion forestière (voir chapitre 4). Un drainage peu profond créera des émissions ressemblant à celles de la gestion forestière, alors que le drainage profond des systèmes d'arbres vivaces générera des émissions similaires à celles des systèmes culturels annuels.

Niveau 2

À l'approche de niveau 2, les facteurs d'émissions sont tirés de données expérimentales spécifiques au pays. Selon les *bonnes pratiques*, les facteurs d'émissions seront dérivés pour des catégories de gestion des terres spécifiques des terres cultivées sur des sols organiques et/ou pour une classification plus fine des régions climatiques, si les nouvelles catégories peuvent capturer les différences les plus importantes en matière de taux

de pertes de C. La section 2.3.3.1 du chapitre 2 propose des recommandations supplémentaires.

Niveau 3

Il est peu probable qu'on puisse estimer des facteurs de taux d'émissions en soi constants, mais plutôt des taux variables qui captureront plus exactement les effets des affectations et de la gestion des terres.

Type de facteur	Niveau	Régime de température	Régime hygrométrique ¹	Valeur par défaut GIEC	Erreur ^{2,3}	Description
Affectation des terres (F_{Aft})	Cultures à long terme	Tempéré/boréal	Sec	0,80	± 9%	Représente une superficie gérée continuellement pendant > 20 ans, avec cultures annuelles prédominantes. Application des facteurs d'entrées et de travail du sol pour l'estimation des variations des stocks de carbone. Le facteur d'affectation des terres a été estimé en fonction d'un travail du sol total et d'entrées de carbone nominales (« moyennes »).
			Humide	0,69	± 12%	
		Tropical	Sec	0,58	± 61%	
			Humide/pluvieux	0,48	± 46%	
		Tropical montagnard ⁴	SO	0,64	± 50%	
Affectation des terres (F_{Aft})	Riz paddy	Tous	Sec et humide/pluvieux	1,10	± 50%	Cultures annuelles de long terme (> 20 ans) sur terres humides (riz paddy). Peuvent inclure des doubles cultures avec des cultures non inondées. Pour le riz paddy, les facteurs de travail du sol et d'entrées ne sont pas utilisés.
Affectation des terres (F_{Aft})	Cultures d'arbres/vivaces	Tous	Sec et humide/pluvieux	1,00	± 50%	Cultures d'arbres vivaces à long terme comme arbres fruitiers et noyers, caféiers et cacaoyers.
Affectation des terres (F_{Aft})	Mise en réserve (< 20 ans)	Tempéré/boréal et tropical	Sec	0,93	± 11%	Représente une mise en réserve temporaire de terres de cultures annuelles (réserve de terres sous conservation, par exemple) ou d'autres terres cultivées inutilisées, avec restauration d'un couvert végétal d'herbacées vivaces.
			Humide/pluvieux	0,82	± 17%	
		Tropical montagnard ⁴	s/o	0,88	± 50%	
Travail du sol ($F_{Gestion}$)	Total	Tous	Sec et humide/pluvieux	1,00	SO	Perturbation des sols importante avec retournement complet et/ou travail du sol fréquent (pendant l'année). À la plantation, une petite partie (< 30 %, par exemple) de la surface est couverte de résidus.
Travail du sol ($F_{Gestion}$)	Réduit	Tempéré/boréal	Sec	1,02	± 6%	Travail du sol principal et/ou secondaire, mais avec perturbation du sol plus faible (en général, en profond et sans retournement complet). En général, à la plantation, >30% de la surface est couverte de résidus.
			Humide	1,08	± 5%	
		Tropical	Sec	1,09	± 9%	
			Humide/pluvieux	1,15	± 8%	
		Tropical montagnard ⁴	SO	1,09	± 50%	
Travail du sol ($F_{Gestion}$)	Aucun	Tempéré/boréal	Sec	1,10	± 5%	Ensemencement direct sans travail du sol principal, avec perturbation du sol minimale dans la zone d'ensemencement. En général, des herbicides sont utilisés pour le désherbage.
			Humide	1,15	± 4%	
		Tropical	Sec	1,17	± 8%	
			Humide/pluvieux	1,22	± 7%	
		Tropical montagnard ⁴	SO	1,16	± 50%	

TABLEAU 5.5 (SUITE)
FACTEURS DE VARIATION DES STOCKS RELATIFS (F_{AFT} , $F_{GESTION}$, ET F_E) (SUR 20 ANS) POUR DIFFÉRENTES ACTIVITÉS DE
GESTION SUR DES TERRES CULTIVÉES

Type de facteur	Niveau	Régime de température	Régime hygrométrique ¹	Valeur par défaut GIEC	Erreur ^{2,3}	Description
Entrées (F_E)	Faibles	Tempéré/boréal	Sec	0,95	± 13%	Faible retour des résidus en raison de l'élimination des résidus (par collecte ou brûlage), fréquentes jachères nues ou production de cultures à faibles résidus (légumes, tabac, coton, etc.), pas d'apport d'engrais minéraux ou de cultures fixatrices d'azote.
			Humide	0,92	± 14%	
		Tropical	Sec	0,95	± 13%	
			Humide/pluvieux	0,92	± 14%	
		Tropical montagnard ⁴	SO	0,94	± 50%	
Entrées (F_E)	Moyennes	Tous	Sec et humide/pluvieux	1,00	SO	Représente des cultures annuelles avec céréales dans lesquelles tous les résidus de cultures retournent aux champs. Si les résidus sont éliminés, on ajoute des matières organiques supplémentaires (fumier, etc.). Nécessite également un apport d'engrais minéraux ou des rotations de cultures fixatrices d'azote.
Entrées (F_E)	Élevées, sans fumier	Tempéré/boréal et tropical	Sec	1,04	± 13%	Représente un niveau de résidus de cultures beaucoup plus élevé en raison de la nature des cultures, de l'emploi d'engrais vert, de cultures de couvertures, de jachère avec végétation améliorée, d'utilisation fréquente d'herbacées vivaces dans les rotations annuelles des cultures, mais sans application de fumier (voir ci-dessous).
			Humide/pluvieux	1,11	± 10%	
		Tropical montagnard ⁴	SO	1,08	± 50%	
Entrées (F_E)	Élevées, avec fumier	Tempéré/boréal et tropical	Sec	1,37	± 12%	Représente des entrées de C beaucoup plus élevées que pour les systèmes culturaux à entrées moyennes, en raison de l'apport supplémentaire de fumier animal.
			Humide/pluvieux	1,44	± 13%	
		Tropical montagnard ⁴	SO	1,41	± 50%	

¹ Dans la mesure des données disponibles, on a calculé des valeurs séparées pour les régimes de température tempérés et tropicaux et les régimes hygrométriques secs, humides et pluvieux. Les zones tempérées et tropicales correspondent à celles définies au Chapitre 3 ; les régimes hydrographiques pluvieux correspondent aux zones humides et pluvieuses combinées dans les tropiques et les régions tempérées des zones humides.

² ± deux écarts types, exprimés en tant que pourcentage de la moyenne ; dans le cas d'études insuffisantes pour une analyse statistique, on a utilisé une valeur par défaut, calculée à partir d'un jugement d'expert, de + 50 %. SO signifie « sans objet », lorsque les valeurs des facteurs sont des valeurs de référence définies, et que les incertitudes se reflètent dans les stocks de C de référence et les facteurs de variation des stocks pour les affectations des terres.

³ Cette plage d'erreur n'inclut pas les erreurs systématiques potentielles dues à de petits échantillons qui peuvent ne pas être représentatifs de l'impact réel pour toutes les régions du monde.

⁴ Il n'existe pas assez d'études à ce jour pour estimer les facteurs de variation des stocks des sols minéraux des régions de climat montagnard tropical. Les variations des stocks moyennes approximatives entre les régions tempérées et tropicales ont été utilisées pour obtenir une valeur approximative des variations pour le climat montagnard tropical.

Note : Voir à l'annexe 5A.1 une estimation des facteurs de variation des stocks par défaut pour les émissions/absorptions sur les sols minéraux de terres cultivées.

TABLEAU 5.6
FACTEUR D'ÉMISSIONS ANNUELLES (FE) POUR LES SOLS ORGANIQUES CULTIVÉS

Régime climatique ¹	Valeurs par défaut GIEC (tonnes C ha ⁻¹ an ⁻¹)	Erreur ²
Boréal/Froid tempéré	5.0	± 90%
Chaud tempéré	10.0	± 90%
Tropical/Subtropical	20.0	± 90%

¹ La classification des climats se trouve au chapitre 3.
² ¹ Représente une estimation d'erreur nominale, équivalente à deux fois l'écart type, en tant que pourcentage de la moyenne. Les estimations se basent sur Glenn *et al.*, 1993 ; Kasimir-Klemetsson *et al.*, 1997 ; Freibauer et Kaltschmitt, 2001 ; Leifeld *et al.*, 2005 ; Augustin *et al.*, 1996 ; Nykänen *et al.*, 1995 ; Maljanen *et al.*, 2001, 2004 ; Lohila *et al.*, 2004 ; Ogle *et al.*, 2003 ; Armentano et Menges, 1986.

5.2.3.3 CHOIX DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS

Sols minéraux

Niveau 1

Les systèmes de terres cultivées sont classés par pratiques en fonction de leurs influences sur le stockage de C des sols. Le système de classification de la gestion par défaut se trouve à la figure 5.1. Les compilateurs d'inventaires devront utiliser cette classification pour catégoriser les systèmes de gestion d'une manière qui sera cohérente avec les facteurs de variation des stocks par défaut de niveau 1. Aux approches de niveaux 2 et 3, la classification peut encore être développée. En général, les pratiques qui font augmenter le stockage de C, (comme l'irrigation, l'apport d'engrais minéraux, les amendements organiques, les cultures de protection et les cultures à résidus élevés) ont des entrées plus importantes ; et les pratiques qui font diminuer le stockage de C (comme le brûlage/extraction des résidus, les rotations avec périodes creuses, et les cultures à faibles résidus) ont des entrées plus faibles. On utilise ces pratiques pour catégoriser les systèmes de gestion puis estimer les variations des stocks de C organique des sols. Les pratiques utilisées dans moins d'un tiers d'une séquence culturale donnée (soit, rotations) devront être laissées de côté, conformément à la classification des données expérimentales utilisées pour estimer les facteurs de variation des stocks par défaut. La riziculture, les terres cultivées vivaces et les terres mises en réserve (c'est-à-dire retirées de la production) sont considérées comme des systèmes de gestion uniques (voir ci-dessous).

Tous les systèmes culturaux annuels (à faibles entrées, entrées moyennes, entrées élevées et entrées élevées avec amendements organiques) sont ensuite subdivisés en fonction de la gestion du travail du sol. On divise les pratiques de travail du sol en « absence de travail du sol » (ensemencement direct sans travail du sol primaire et perturbation du sol minimale dans la zone d'ensemencement, herbicides généralement utilisés pour le désherbage) ; « travail du sol réduit » (travail du sol primaire et/ou secondaire mais perturbation du sol réduite, généralement peu profonde et sans retournement complet du sol, laisse en général la surface couverte à > 30 % de résidus de plantations) ; et « travail du sol complet » (perturbation importante du sol avec retournement du sol complet et/ou fréquent au cours du travail du sol de l'année, < 30 % de la surface est couverte de résidus au moment de la plantation). Conformément aux *bonnes pratiques*, on ne prendra en compte le travail du sol réduit ou son absence que s'ils représentent des pratiques utilisées de manière continue (chaque année), car une utilisation même occasionnelle d'un travail du sol complet réduira de beaucoup le stockage de C organique des sols attendu sous un régime réduit ou sans travail du sol (Pierce *et al.*, 1994 ; Smith *et al.*, 1998). Pour évaluer l'impact des systèmes de travail du sol par rotation (soit un mélange de pratiques de travail réduit, d'absence de travail du sol et/ou de travail complet) sur les stocks de C des sols, on appliquera une méthode de niveau 2.

Les principaux types de données sur les activités d'affectation des terres sont les suivants : i) statistiques agrégées (approche 1), ii) données présentant des informations explicites sur les conversions d'affectation des terres mais sans géoréférencement spécifique (approche 2), ou iii) données présentant des informations explicites sur les conversions d'affectation des terres avec géoréférencement (approche 3), comme des inventaires sur les affectations et la gestion des terres formant un échantillon statistique de la superficie de terres du pays (voir au chapitre 3 la description des approches). En tout état de cause, des statistiques disponibles mondialement sur les productions culturelles et les affectations des terres, comme les bases de données de la FAO (<http://faostat.fao.org/>), permettent d'obtenir des compilations annuelles des superficies totales annuelles par

grandes affectations des terres, données sélectionnées sur la gestion (par exemple, terres cultivées irriguées ou non), superficies de terres soumises à cultures « vivaces » (par exemple vignobles, cultures herbacées vivaces et cultures d'arbres comme les vergers) et cultures annuelles (par exemple blé, riz, maïs, sorgho, etc.). Les bases de données de la FAO sont un exemple de données agrégées (approche 1).

Les données sur les activités de gestion s'ajoutent aux données sur les affectations des terres, et fournissent des informations permettant de classer les systèmes de gestion, par exemple les types de cultures, les rotations, les pratiques de travail du sol, l'irrigation, l'application de fumier, la gestion des résidus, etc. Ces données peuvent également être des statistiques agrégées (approche 1) ou des informations sur des changements explicites de gestion (approches 2 ou 3). Si possible, les *bonnes pratiques* exigent que l'on détermine les pratiques de gestion spécifiques aux superficies de terres associées à des systèmes culturaux (par exemple, rotations et pratiques de travail du sol), plutôt que d'avoir seulement des superficies correspondant à des cultures. Les données télédéteectées sont des ressources utiles de données sur les affectations et la gestion des terres ; consulter des experts pourra aussi représenter une source potentielle d'informations sur les pratiques culturales. Conformément aux *bonnes pratiques*, on fera appel aux connaissances des experts en suivant les méthodes présentées dans le chapitre 2 du volume 1 (*Comment solliciter l'opinion d'experts*).

Les inventaires nationaux des ressources et des affectations des terres, basés sur des enquêtes répétées sur les mêmes sites, fournissent les données sur les activités des approches 2 et 3, et présentent des avantages par rapport aux données agrégées sur la gestion et l'affectation des terres cultivées (approche 1). Les données de série temporelle sont plus facilement associées à des systèmes culturaux particuliers (c'est-à-dire qu'elles combinent une gestion et un type de culture sur plusieurs années), et le type de sol peut être déterminé par échantillonnage ou référencement de l'emplacement sur une carte des sols adaptée. Les points d'inventaires sélectionnés en fonction d'une conception statistique appropriée permettent aussi d'estimer la variabilité associée aux données sur les activités, estimation pouvant ensuite être utilisée lors de l'analyse formelle des incertitudes. Le *National Resource Inventory*, aux États-Unis, est un exemple d'enquête d'approche 3 (Nusser et Goebel, 1997).

Pour stratifier les superficies par climats et types de sols, des informations supplémentaires devront être incluses dans les données sur les activités du pays. Si ces informations n'existent pas déjà, on pourra en premier lieu superposer les cartes des affectations des terres/de la couverture terrestre dont on dispose (au niveau national ou tirées d'ensembles de données mondiales comme l'IGBP_DIS) avec des cartes des climats et des sols d'origine nationale ou mondiale, comme la Carte mondiale des sols de la FAO et les données climatiques du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. L'annexe 3A.5 du chapitre 3 fournit une description détaillée des méthodes de classification des climats et des sols par défaut. La classification des sols se base sur une description taxonomique des sols et sur des données texturales ; les régions climatiques sont classées en fonction de températures annuelles moyennes et des précipitations, de l'élévation, de l'occurrence du gel et de l'évapotranspiration potentielle.

Niveau 2

Pour les approches de niveau 2, il faudra probablement disposer de stratifications plus précises des systèmes de gestion qu'au niveau 1 (voir figure 5.1), si les données nécessaires sont disponibles. Parmi ces stratifications, on pourra avoir des subdivisions des catégories d'entrées annuelles culturales (c'est-à-dire faibles, moyennes, élevées ou élevées avec amendements), de la riziculture, des systèmes culturaux vivaces et des mises en réserve. Selon les *bonnes pratiques*, on subdivisera plus avant les classifications par défaut en fonction de données empiriques démontrant qu'il existe des différences importantes de stockage du C organique des sols parmi les catégories proposées. En outre, les approches de niveau 2 pourront stratifier les régions climatiques et les types de sols de manière plus fine.

Niveau 3

Au niveau 3, pour appliquer des modèles dynamiques et/ou effectuer un inventaire direct basé sur des mesures, les pays devront disposer de données aussi précises, voire plus précises qu'aux niveaux 1 et 2 sur les combinaisons de climats, de sols, de topographie et de gestion ; toutefois les besoins exacts dépendront du modèle ou du plan de mesures.

Sols organiques

Niveau 1

Contrairement à la méthode adoptée pour les sols minéraux, les terres cultivées sur des sols organiques ne sont pas classées par systèmes de gestion, car on suppose que le drainage associé à tout type de gestion culturale stimule l'oxydation de la matière organique précédemment accumulée dans un environnement largement anoxique. Toutefois, pour appliquer la méthode décrite à la section 2.3.3.1 du chapitre 2, il faut tout de même stratifier les terres cultivées par régions climatiques et types de sols (voir à l'annexe 3A.5 du chapitre 3 des recommandations sur les classifications des climats et des sols).

Pour calculer les estimations des superficies, on pourra utiliser des bases de données et des approches similaires à celles décrites pour les *sols minéraux* au niveau 1. Les superficies de terres de sols organiques et gérées pour en faire des terres cultivées pourront être déterminées en superposant des cartes des affectations des terres à des cartes des sols et des climats. On pourra utiliser des données spécifiques au pays sur les projets de drainage combinées à des enquêtes sur les affectations des terres pour obtenir des estimations plus fines des superficies pertinentes.

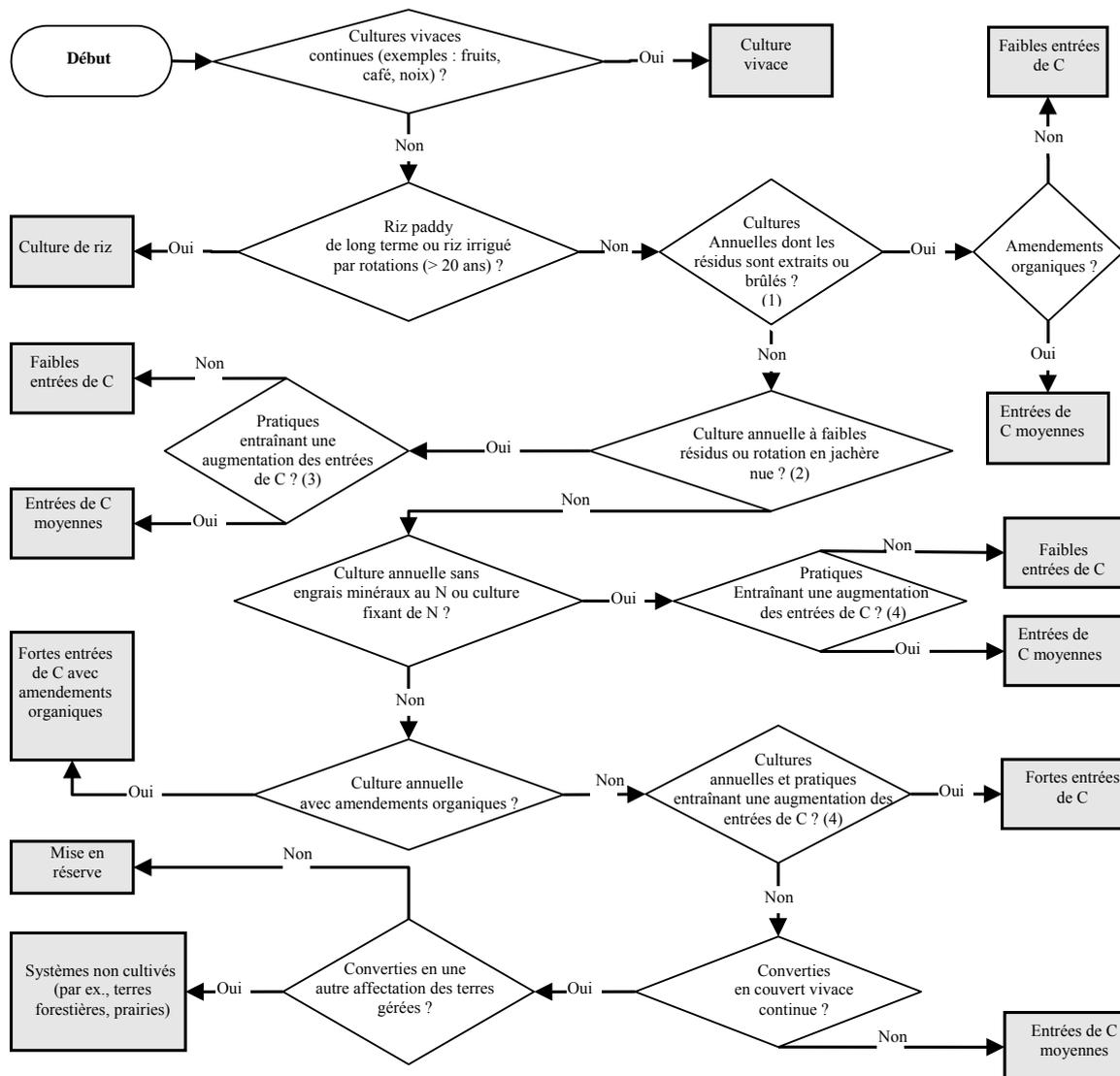
Niveau 2

Pour les approches de niveau 2, il faudra probablement disposer de stratifications plus précises des systèmes de gestion, si les données nécessaires sont disponibles. Parmi ces stratifications, on pourra avoir des subdivisions des catégories d'entrées annuelles culturales par types de drainage, de cultures (Freibauer, 2003) ou de perturbation due au travail du sol. En outre, les approches de niveau 2 pourront stratifier les régions climatiques de manière plus fine.

Niveau 3

Les approches de niveau 3 nécessiteront probablement des données plus précises qu'aux niveaux 1 et 2 sur les climats, les sols, la topographie et la gestion ; toutefois les besoins exacts dépendront du modèle ou du plan de mesures.

Figure 5.1 Classification des systèmes de terres cultivées. Pour classer les systèmes de gestion des terres cultivées, le compilateur d'inventaire doit commencer par le haut et descendre les cases en répondant aux questions (en changeant de branche si la réponse est oui), jusqu'à l'arrivée à la fin du diagramme. La présente classification correspond aux facteurs de variation des stocks par défaut du tableau 5.5. Les classes d'entrées de C (soit, faibles, moyennes, élevées ou élevées avec amendements organiques) sont ensuite subdivisées par pratiques de travail du sol.



Note :

1. Normalement, exclut le pacage de résidus dans les champs.
2. Exemples : coton, légumes et tabac.
3. Pratiques qui font augmenter la quantité de C au-delà de la quantité normalement générée par les variétés à faibles résidus, comme l'emploi d'amendements organiques, les cultures de protection et l'engrais vert, et les cultures mixtes/systèmes herbacés.
4. Pratiques qui font augmenter la quantité de C en produisant plus de résidus, comme l'irrigation, les cultures de protection et l'engrais vert, les jachères végétalisées, les cultures à résidus importants, et les cultures mixtes/systèmes herbacés.
5. Couvert vivace sans récoltes fréquentes

Note : Ne prendre en compte que les pratiques – irrigation, brûlage/extraction de résidus, engrais minéraux, cultures fixatrices d'azote,

5.2.3.4 ÉTAPES DE CALCUL DE NIVEAU 1

Sols minéraux

Les étapes d'estimation de COS_0 et $COS_{(0-T)}$ et des variations nettes des stocks de C des sols par ha de *terres cultivées restant terres cultivées* sur des sols minéraux sont les suivantes :

Étape 1 : Organiser les données par périodes d'inventaires en fonction des années pour lesquelles des données sur les activités ont été rassemblées (par exemple 1990 à 1995, 1995 à 2000, etc.)

Étape 2 : Déterminer la quantité de *terres cultivées restant terres cultivées* par types de sols minéraux et de régions climatiques dans le pays au début de la première période d'inventaire. La première année d'inventaire dépendra du laps de temps couvert par les données sur les activités (0-T ; par exemple il y a 5, 10 ou 20 ans).

Étape 3 : Classer chaque terre cultivée dans le système de gestion approprié à l'aide de la figure 5.1.

Étape 4 : Attribuer des valeurs des stocks de C indigènes de référence (COS_{REF}) tirées du tableau 2.3 en fonction des types de sols et des climats.

Étape 5 : Attribuer un facteur d'affectation des terres (F_{Aft}), un facteur de gestion ($F_{Gestion}$) et des niveaux d'entrée de C (F_E) à tous les types de terres cultivées en fonction des classifications de la gestion (étape 2). Les valeurs de F_{Aft} , $F_{Gestion}$ et F_E se trouvent au tableau 5.5.

Étape 6 : Multiplier ces facteurs (F_{Aft} , $F_{Gestion}$ et F_E) par le stock de C des sols de référence (COS_{REF}) pour estimer le stock de C organique des sols « initial » ($COS_{(0-T)}$) pour la période d'inventaire.

Étape 7 : Estimer le stock de C organique des sols final (COS_0) en répétant les étapes 1 à 5 à l'aide des mêmes stocks de C indigènes de référence (COS_{REF}), mais avec des facteurs d'affectation et de gestion des terres et d'entrées qui permettent de représenter les conditions de la dernière année d'inventaire (an 0) pour toutes les terres cultivées.

Étape 8 : Estimer les variations annuelles moyennes des stocks de C organique des sols des terres cultivées restant terres cultivées ($\Delta C_{Minéral}$) en soustrayant le stock de C organique des sols « initial » ($COS_{(0-T)}$) du stock de C organique des sols final (COS_0), puis en le divisant par la dépendance temporelle des facteurs de variation des stocks (soit, 20 ans selon les facteurs par défaut). Si la période d'inventaire est plus longue que 20 ans, le diviser ensuite par la différence entre les années initiale et finale de la période d'inventaire.

Étape 9 : Répéter les étapes 2 à 8 s'il y a des périodes d'inventaire supplémentaires (par exemple 1990 à 2000, 2001 à 2010, etc.).

L'exemple numérique ci-dessous traite des *terres cultivées restant terres cultivées* sur des sols minéraux, emploie l'équation 2.25 et les stocks de C de référence par défaut (tableau 2.3) ainsi que les facteurs de variation des stocks (tableau 5.5).

Exemple : L'exemple suivant présente le calcul des variations des stocks de carbone de sols de terres cultivées pour des superficies agrégées. Pour un mollisol dans un climat pluvieux tempéré chaud, on a 1Mha de terres cultivées annuelles permanentes. Le stock de carbone indigène de référence (COS_{REF}) de la région est de 88 tonnes C ha⁻¹. Au début de la période d'inventaire, (pour cet exemple, 10 ans avant, en 1990), la distribution des systèmes de terres cultivées était de 400 000 ha de terres cultivées annuelles avec faibles entrées de carbone et travail du sol complet et 600 000 ha de terres cultivées annuelles avec entrées moyennes et travail du sol complet. Les stocks de carbone des sols initiaux sont donc pour la superficie : 400 000 ha • (88 tonnes C ha⁻¹ • 0,69 • 1 • 0,92) + 600 000 ha • (88 tonnes C ha⁻¹ • 0,69 • 1 • 1) = 58,78 million tonnes C. À la dernière année d'inventaire (dans cet exemple, l'an 2000), ils sont : 200 000 ha de cultures annuelles avec travail du sol complet et faibles entrées de C, 700 000 ha de cultures annuelles avec travail du sol réduit et entrées de C moyennes, et 100 000 ha de cultures annuelles sans travail du sol et entrées de C moyennes. Le total des stocks de carbone des sols pour l'année d'inventaire est donc : 200 000 ha • (88 tonnes C ha⁻¹ • 0,69 • 1 • 0,92) + 700 000 ha • (88 tonnes C ha⁻¹ • 0,69 • 1,08 • 1) + 100 000 ha • (88 tonnes C ha⁻¹ • 0,69 • 1,15 • 1) = 64,06 millions tonnes C. Les variations annuelles des stocks moyennes pour la période et toute la superficie sont donc : augmentation du stock de C des sols de 64,06 – 58,78 = 5,28 millions tonnes/20 an = 264 000 tonnes C par an (à noter : 20 ans est la dépendance temporelle du facteur de variation des stocks, c'est-à-dire du facteur représentant le taux annuel de variation sur 20 ans).

Sols organiques

Les étapes d'estimation des pertes de C des sols des sols organiques drainés sont les suivantes :

- Étape 1 :** Organiser les données par périodes d'inventaires en fonction des années pour lesquelles des données sur les activités ont été rassemblées (par exemple 1990 à 1995, 1995 à 2000, etc.)
- Étape 2 :** Déterminer la quantité de terres cultivées restant terres cultivées existant sur des sols organiques pour la dernière année de la période d'inventaire.
- Étape 3 :** Sélectionner le facteur d'émission approprié (FE) pour les pertes annuelles de CO₂ en fonction du climat (en utilisant le tableau 5.6).
- Étape 4 :** Estimer les émissions totales en additionnant le produit de la superficie (S) multiplié par le facteur d'émissions (FE) pour toutes les zones climatiques.
- Étape 5 :** Répéter pour toute période d'inventaire supplémentaire.

L'exemple numérique suivant concerne les *terres cultivées restant terres cultivées* sur des sols organiques drainés, et emploie l'équation 2.26 et les facteurs d'émissions par défaut (tableau 5.6).

Exemple : L'exemple suivant présente le calcul des variations des stocks de carbone de sols de terres cultivées pour des superficies agrégées. Pour un histosol dans un climat pluvieux tempéré chaud, on a 0,4 Mha de terres cultivées annuelles permanentes. Le facteur d'émissions de ce climat est de 10,0 tonnes C ha⁻¹ an⁻¹. Les variations annuelles des stocks de carbone des sols organiques pendant la période d'inventaire sont donc : 400 000 ha • 10,0 tonnes C ha⁻¹ = 4,0 millions tonnes C an⁻¹.

5.2.3.5 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Les inventaires du C des sols sont soumis à trois grandes sources d'incertitudes : 1) les incertitudes relatives aux affectations et à l'exploitation des terres et aux données sur l'environnement ; 2) les incertitudes relatives aux stocks de C des sols de référence si l'on utilise des approches de niveaux 1 ou 2 (uniquement sols minéraux) ; et 3) les incertitudes relatives aux facteurs d'émissions/de variations des stocks aux approches de niveaux 1 et 2, aux erreurs relatives à la structure du modèle/paramètre des approches basées sur des modèles, au niveau 3, ou aux erreurs de mesures/variabilité de l'échantillonnage associées aux inventaires basés sur des mesures au niveau 3. En général, plus on a d'échantillons pour estimer les valeurs des trois grandes catégories, plus la précision des inventaires augmente et plus les plages d'incertitude diminuent ; pour réduire les biais (c'est-à-dire améliorer l'exactitude), il sera préférable d'élaborer des inventaires de niveaux plus élevés incorporant des informations spécifiques au pays.

Au niveau 1, les incertitudes sont fournies avec les stocks de C de référence à la première note de bas de page du tableau 2.3, les facteurs de variation des stocks au tableau 5.5 et les facteurs d'émission des sols organiques au tableau 5.6. Les compilateurs d'inventaires devront étudier les incertitudes relatives aux données sur l'affectation et la gestion des terres, puis les combiner avec les incertitudes relatives aux facteurs par défaut et aux stocks de C de référence (uniquement sols minéraux), à l'aide d'une méthode appropriée, comme par exemple l'emploi d'équations simples de propagation d'erreur. Si les données sur les activités sont tirées de statistiques agrégées sur les superficies d'affectations des terres (par exemple celles de la FAO), l'agence chargée de l'inventaire pourra devoir utiliser un niveau d'incertitude par défaut pour les estimations des superficies de terres ($\pm 50\%$). Conformément aux *bonnes pratiques*, le compilateur d'inventaire devra toutefois dériver les incertitudes à partir de données sur les activités spécifiques au pays plutôt qu'employer un niveau par défaut.

Les stocks de C de référence par défaut et les facteurs de variations des stocks des sols minéraux et les facteurs d'émissions pour les sols organiques peuvent présenter des taux d'incertitude naturellement élevés, notamment des biais, lorsqu'on les applique à certains pays. Les valeurs par défaut sont des valeurs moyennées mondialement correspondant aux impacts de l'affectation et de la gestion des terres ou des stocks de C de référence qui peuvent varier en fonction des régions (Powers *et al.*, 2004 ; Ogle *et al.*, 2006). Pour réduire les biais, on peut dériver des facteurs spécifiques au pays en employant une méthode de niveau 2, ou élaborer un système d'estimation spécifique au pays, de niveau 3. Les approches de niveaux plus élevés se basent sur des expériences menées dans le pays ou les régions avoisinantes traitant des impacts des affectations et de la gestion des terres sur le C des sols. En outre, les pays chercheront à réduire encore les biais, conformément aux *bonnes*

pratiques, en prenant en compte les différences d'impacts significatives, à l'intérieur du pays, de l'affectation et de la gestion des terres ; par exemple les différentes régions climatiques et/ou types de sols, et ce parfois même lorsque la précision des estimations des facteurs s'en trouve réduite. (Ogle *et al.*, 2006). On considère le biais comme un problème plus important lors de l'établissement de rapports sur les variations des stocks parce qu'il ne se voit pas toujours dans la plage d'incertitude calculée (c'est à dire que les véritables variations des stocks peuvent se trouver à l'extérieur de la plage d'incertitude notifiée si le biais des facteurs est important).

Pour améliorer le taux d'incertitude relatif aux statistiques sur les affectations des terres, on pourra chercher à adopter un meilleur système national, en élaborant par exemple une enquête de terrain incluant des emplacements nouveaux et/ou incorporant des données télédéteectées, ou en développant les enquêtes existantes, afin d'avoir une couverture plus vaste. Les *bonnes pratiques* exigent que l'on élabore un plan de classification qui capture la plupart des activités d'affectation et de gestion des terres à l'aide d'échantillons de taille suffisamment grande pour réduire au maximum l'incertitude au niveau national.

Pour les méthodes de niveau 2, on incorpore des informations spécifiques au pays dans l'analyse de l'inventaire, afin de réduire le biais. Par exemple, Ogle *et al.* (2003) employaient des données nationales pour élaborer des fonctions de distribution de la probabilité pour les facteurs, données d'activités et stocks de C de référence des sols agricoles des États-Unis. Selon les *bonnes pratiques*, on évaluera les dépendances existant parmi les facteurs, les stocks de C de référence ou les données d'activités sur l'affectation et la gestion des terres. Il est notamment commun d'observer de fortes dépendances au niveau des données sur les activités relatives à l'affectation et la gestion des terres, parce que les pratiques de gestion ont tendance à être corrélées dans le temps et l'espace. On pourra combiner les incertitudes des variations des stocks/facteurs d'émissions, stocks de C de référence et données sur les activités en employant des méthodes simples comme des équations de propagation d'erreur ou des procédures Monte-Carlo permettant d'estimer les moyennes et les déviations types des variations des stocks de C des sols (Ogle *et al.*, 2003 ; Vanden Bygaart *et al.*, 2004).

Les modèles de niveau 3 sont plus complexes et une simple équation de propagation d'erreur pourra s'avérer inefficace lors de la quantification des incertitudes associées dans les estimations obtenues. On pourra employer des analyses Monte Carlo (Smith et Heath, 2001), mais celles-ci pourront s'avérer difficiles à mettre en place si le modèle comprend de nombreux paramètres (certains modèles peuvent présenter plusieurs centaines de paramètres), parce que les fonctions de distribution de probabilité communes devront être construites en quantifiant la variance en plus de la covariance des paramètres. D'autres méthodes sont également possibles, comme des approches empiriques (Monte *et al.*, 1996), qui utilisent des mesures prises sur un réseau de surveillance afin d'évaluer statistiquement la relation entre les résultats mesurés et obtenus par modèle (Falloon et Smith, 2003). À l'inverse des modèles, les incertitudes des inventaires de niveau 3 basés sur des mesures peuvent être déterminées à partir de la variance de l'échantillon, de l'erreur de mesure et d'autres sources pertinentes d'incertitude.

5.2.4 Émissions de gaz à effet de serre sans CO₂ dues au brûlage de biomasse

Les émissions sans CO₂ des *terres cultivées restant terres cultivées* (en particulier de CH₄, CO, NO_x et N₂O) sont généralement associées au brûlage des résidus agricoles, pratique qui varie en fonction des pays, cultures effectuées et systèmes de gestion. Il n'est pas nécessaire d'inclure dans les rapports les émissions de CO₂ dues au brûlage de biomasse, car on suppose que le carbone émis lors du processus de combustion sera réabsorbé par la végétation à la saison de croissance suivante.

Il faudra estimer le pourcentage de résidus agricoles de récoltes brûlés sur le site, qui représente la masse de combustible disponible au brûlage, en prenant en compte les fractions extraites avant le brûlage, en raison de la consommation animale, de la décomposition sur le terrain, et de l'utilisation dans d'autres secteurs (par exemple, biocombustible, nourriture domestique du bétail, matériaux de construction, etc.). Ces étapes sont importantes afin d'éliminer toute possibilité de double comptage.

La méthodologie d'estimation des émissions sans CO₂ dues au brûlage de biomasse des *terres cultivées restant terres cultivées* se base sur la formulation générique de l'équation 2.27 au chapitre 2. Les estimations devront utiliser des données annuelles.

5.2.4.1 CHOIX DE LA METHODE

Le diagramme décisionnel de la figure 2.6 au chapitre 2 fournit des recommandations générales pour le choix du niveau approprié. Pour estimer les émissions de gaz à effet de serre dues au brûlage de biomasse, on emploie l'équation 2.27 (chapitre 2). Au niveau 1, les données sur les activités sont généralement très agrégées ; le chapitre 2 fournit les valeurs par défaut des facteurs d'émissions et de combustion. Au niveau 2, les estimations

se font généralement par grands types de cultures classés par zones climatiques, à l'aide de taux d'accumulation des résidus et d'estimations des émissions et de la combustion spécifiques au pays. Au niveau 3, on a une méthode fortement spécifique au pays, avec une modélisation par processus et/ou des mesures précises.

Les pays devront chercher à améliorer les inventaires et l'établissement de leurs rapports en employant la méthode de niveau le plus élevé possible en fonction des circonstances nationales. Si le brûlage est une catégorie clé des *terres cultivées restant terres cultivées*, il faudra utiliser une méthode de niveaux 2 ou 3.

5.2.4.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSION

Niveau 1

Les pays employant une méthode de niveau 1 devront utiliser les valeurs de consommation du combustible par défaut appropriées ($M_B \times C_f$) du tableau 2.4 pour M_B et C_f à l'équation 2.27 du chapitre 2. Les facteurs d'émissions par défaut de tous les gaz à effet de serre pertinents se trouvent au tableau 2.5.

Niveau 2

La méthode de niveau 2 développe le niveau 1 pour y ajouter l'utilisation des facteurs d'émissions, de combustion et de combustibles spécifiques au pays. Les pays pourront estimer la quantité de combustible disponible à partir de statistiques sur la production agricole et du taux de rendement agricole et de résidus produits. Il faudra effectuer des études de terrain pour estimer les fractions de résidus de récoltes extraites des champs (pour en faire du combustible ou du fourrage) ou abandonnées dans un objectif de brûlage pour différents systèmes culturaux. Les pays devront concentrer leurs efforts sur les plus importantes cultures brûlées ou les systèmes présentant un fort taux de biomasse par hectare et dont les niveaux d'émissions par unité de terre sont élevés (par exemple, cane à sucre, coton).

Niveau 3

Au niveau 3, on utilise des modèles basés sur des paramètres spécifiques au pays et des données tirées d'inventaires nationaux pour veiller à ce qu'aucune pratique de brûlage de résidus de récoltes ne soit omise. Le niveau 3 dépend de mesures sur le terrain de la quantité de résidus brûlés sur place pour différents systèmes culturaux sous différentes zones climatiques et systèmes de gestion, conformément aux méthodes d'échantillonnage décrites au chapitre 3 (annexe 3A.3). Les pays devront concentrer leurs efforts sur l'élaboration de facteurs d'émissions et de combustion spécifiques, en prenant principalement en compte les résidus brûlés des récoltes dominantes.

5.2.4.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Niveau 1

Les données sur les activités incluent des estimations des superficies de terres soumises aux types de cultures dont on brûle d'ordinaire les résidus. Ces données sont normalement disponibles en consultant les services gouvernementaux agricoles nationaux, par exemple lorsque les images satellite ne fournissent pas de données objectives. Les pays peuvent également choisir d'estimer les superficies culturelles plantées à partir des données concernant la production culturelle annuelle et d'une estimation de la productivité moyenne par hectare. On pourra utiliser les statistiques de la FAO s'il n'existe pas d'estimations nationales. Mais les *bonnes pratiques* recommandent une vérification par recoupement des données FAO avec des sources nationales.

Niveau 2

Aux méthodes de niveau 2, les pays devront employer des estimations des superficies plus désagrégées (par exemple, grands types de récoltes par zones climatiques) et des taux d'accumulation des résidus spécifiques au système de gestion des récoltes et au pays. Pour ce faire, on pourra utiliser des enquêtes périodiques ou annuelles plus détaillées afin d'estimer les superficies de terres à classer dans chaque catégorie de récolte. Les superficies seront ensuite classées en catégories pertinentes pour que toutes les grandes combinaisons de types de cultures et de régions climatiques soient représentées avec les estimations de superficie individuelles.

Niveau 3

Au niveau 3, on devra disposer de données de haute résolution sur les activités, désagrégées au niveau sub-national en grilles fines. Comme au niveau 2, la superficie de terres est classée par types spécifiques de cultures puis par grandes catégories de sols et de climats et autres variables régionales potentiellement importantes (par exemple, schémas régionaux des pratiques de gestion) à utiliser pour l'élaboration des modèles. Les pays devront chercher à obtenir des estimations des superficies spatialement explicites pour obtenir une couverture complète des terres cultivées et s'assurer que les superficies ne sont ni sous-estimées ni surestimées. En outre, les estimations des superficies spatialement explicites peuvent ensuite être liées à des taux d'émissions pertinents au niveau local et à des impacts de la gestion, qui permettent d'améliorer l'exactitude des estimations. Les données sur les superficies soumises à différents systèmes culturaux doivent correspondre aux superficies utilisées aux

sections précédentes (biomasse, matière organique morte), même si le brûlage des résidus peut n'avoir lieu que sur une partie de la superficie totale.

5.2.4.4 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Les estimations des superficies plantées par types de récoltes et dont on brûle habituellement les résidus peuvent être très incertaines. Les statistiques mondiales sur la production agricole peuvent être très incertaines si elles ne sont pas mises à jour tous les ans ; elles forment néanmoins une base indirecte d'estimation des superficies plantées. La fraction de résidus agricoles brûlée sur le terrain peut représenter la variable la plus incertaine. Les estimations de niveau 2 sont plus précises, car elles se basent sur des paramètres spécifiques au pays. Conformément aux *bonnes pratiques*, on fournira des estimations des erreurs (soit, déviations et erreurs types, plages) pour les facteurs d'émissions et de combustion spécifiques au pays et les superficies brûlées.

5.3 TERRES CONVERTIES EN TERRES CULTIVEES

Environ 50 % de la surface totale des terres du monde a été transformée de manière anthropique directe, 20 % of des écosystèmes terrestres ont été convertis en terres cultivées permanentes, et 25 % des forêts du monde ont été prélevées pour les transformer en terres agricoles ou pâturages (Moore, 2002). Les superficies servant de terres cultivées augmentent dans certaines parties du monde afin de répondre aux besoins croissances en matière d'alimentation et de fibres. Les terres cultivées ont principalement augmenté au cours des vingt dernières années en Asie du sud-est, dans certaines parties de l'Asie australe, dans la région des grands lacs d'Afrique orientale et dans le bassin amazonien (Millennium Ecosystems Assessment, 2005). Au cours de cette même période, la destruction des forêts dans les tropiques a atteint une moyenne de 12 millions d'hectares par an, selon les statistiques de l'Environmental Group Limited (<http://www.environmental.com.au/>). Dans les années 1990, le taux de déboisement a atteint une moyenne de 14,6 millions ha par an. La conversion en terres cultivées représente un changement d'affectation des terres important depuis le début du déboisement des tropiques. Les émissions et absorptions de gaz à effet de serre des *terres converties en terres cultivées* peuvent représenter une source clé pour de nombreux pays.

L'estimation des émissions et absorptions de gaz à effet de serre annuelles des *terres converties en terres cultivées* inclut :

- Estimation des variations annuelles des stocks de C de tous les pools et toutes les sources de C :
 - Biomasse (biomasse aérienne et souterraine) ;
 - Matière organique morte (bois mort et litière) ;
 - Sols (matière organique des sols).
- Estimation des gaz sans CO₂ (CH₄, CO, N₂O, NO_x) dus au brûlage de biomasse aérienne et de MOM.

5.3.1 Biomasse

5.3.1.1 CHOIX DE LA METHODE

La présente section fournit des recommandations sur les méthodes de calcul des variations des stocks de carbone de la biomasse en raison de la conversion d'une terre depuis des conditions naturelles et d'autres affectations des terres en terres cultivées, y compris le déboisement et la conversion de zones de pâturages et parcours en terres cultivées. Pour effectuer ce calcul, il faudra disposer d'estimations du carbone des stocks de biomasse avant et après la conversion, en fonction des estimations des superficies de terres converties pendant la période entre deux enquêtes sur les affectations des terres. Au niveau 1, on suppose que la conversion en terres cultivées signifie l'extraction totale de la végétation dominante, et donc des émissions, en conséquence de quoi on a des quantités quasiment nulles de carbone restant dans la biomasse. Certains types de systèmes culturaux sont plantés immédiatement ; la quantité de carbone stockée dans la biomasse augmente donc. La différence entre les pools de carbone de la biomasse initiaux et finaux est utilisée pour calculer les variations des stocks de carbone dues à la conversion d'affectation des terres ; pour les années suivantes on compte les accumulations et pertes de la biomasse ligneuse vivace des terres cultivées en employant les méthodes décrites à la section 5.2.1 (*terres cultivées restant terres cultivées*).

Selon les *bonnes pratiques*, on comptabilisera tous les pools de carbone (c'est-à-dire biomasse aérienne et souterraine, matière organique morte et sols) pour estimer les variations des stocks de carbone des *terres converties en terres cultivées*. Les connaissances sont actuellement trop réduites pour pouvoir élaborer une

approche par défaut avec des paramètres par défaut permettant d'estimer les variations des stocks de carbone des pools de matière organique morte (MOM)². Il est peu probable que la MOM soit importante, sauf pendant l'année de la conversion. On suppose qu'il n'y a pas de MOM sur les terres cultivées. En outre, la méthodologie décrite ci-après ne comptabilise que les variations des stocks de carbone de la biomasse aérienne, car les données sont limitées sur les stocks de carbone souterrains des terres cultivées vivaces.

Les *Lignes directrices GIEC* présentent des options de plus en plus sophistiquées incorporant des détails plus précis sur les superficies de terres converties, les stocks de carbone des terres et les pertes de carbone imputables aux conversions des terres. Selon les *bonnes pratiques*, on adoptera le niveau approprié en fonction de l'analyse des sources clés, de la disponibilité des données et des circonstances nationales. Les pays devront chercher à améliorer les inventaires et l'établissement de leurs rapports en employant la méthode de niveau le plus élevé possible en fonction des circonstances nationales. Les *bonnes pratiques* exigent l'utilisation d'approches de niveaux 2 ou 3 si les émissions et absorptions de carbone des *terres converties en terres cultivées* sont une catégorie clé et si la sous-catégorie « biomasse » est considérée comme significative en fonction des principes décrits au chapitre 4 du volume 1. Les pays devront utiliser le diagramme décisionnel de la figure 1.3 pour choisir la méthode convenable. Les *terres converties en terres cultivées* formeront probablement une catégorie clé pour de nombreux pays ; la biomasse sera aussi certainement une source clé.

Niveau 1

La méthode de niveau 1 suit l'approche présentée au chapitre 4 (*Terres forestières*) : la quantité de biomasse extraite pour convertir la terre en une terre cultivée est estimée en multipliant la superficie convertie au cours d'une année par le stock de carbone moyen de la biomasse des terres forestières ou prairies avant la conversion. Selon les *bonnes pratiques*, on comptabilisera toutes les conversions de terres en terres cultivées. En conséquence, la présente section développe la méthode pour y inclure différentes utilisations initiales, dont les forêts.

L'équation 2.15 du chapitre 2 est un résumé des principaux éléments permettant d'effectuer une estimation de premier ordre des variations des stocks de carbone dues à la conversion d'affectation de terres en terres cultivées. Les variations des stocks de carbone moyennes par hectare sont estimées pour tous les types de conversions. Les variations des stocks de carbone moyennes sont égales aux variations des stocks de carbone dues à l'extraction de biomasse de l'affectation des terres initiale (soit, le carbone de la biomasse immédiatement après la conversion moins le carbone de la biomasse avant la conversion), plus les stocks de carbone d'une année de croissance sur les terres cultivées après la conversion. Seule la végétation ligneuse remplaçant la végétation défrichée pendant la conversion d'affectation des terres devra être prise en compte. Les *GPG-LULUCF* combinent le carbone de la biomasse après la conversion et le carbone de la biomasse poussant sur la terre après la conversion pour créer un seul terme. À la présente méthode, on sépare les deux valeurs en deux termes, $B_{\text{APRÈS}}$ et ΔC_G , à des fins de transparence.

Au niveau 1, on suppose que les stocks de carbone de la biomasse immédiatement après la conversion ($B_{\text{APRÈS}}$) sont nuls, car on a défriché toute la végétation avant de planter les cultures. Les variations des stocks de carbone moyennes par hectare pour une conversion donnée d'affectation des terres sont multipliées par la superficie estimée soumise à ce type de conversion au cours d'une année. Au cours des années suivantes, les variations de la biomasse des cultures annuelles sont considérées comme nulles parce que les gains de carbone de la biomasse dus à la croissance annuelle sont à l'équilibre avec les pertes dues aux récoltes. Les variations de la biomasse des cultures ligneuses vivaces sont comptabilisées à l'aide de la méthodologie de la section 2.3.1.1 (*Variations des stocks de carbone de la biomasse des terres restant dans la même catégorie d'affectation des terres*).

Au niveau 1, l'hypothèse par défaut est que tout le carbone de la biomasse extraite se perd dans l'atmosphère via le brûlage ou les processus de décomposition, sur place ou non. Les calculs de niveau 1 ne font pas de différence entre les émissions immédiates dues au brûlage et les pertes dues à d'autres conversions.

Niveau 2

Structurellement, les calculs de niveau 2 sont similaires au niveau 1, hormis les différences suivantes : premièrement, le niveau 2 se base fortement sur des estimations spécifiques au pays des stocks de carbone des affectations des terres initiales et finales, plutôt que sur des données par défaut. Les estimations des superficies des *terres converties en terres cultivées* sont désagrégées en fonction de la végétation d'origine (par exemple origines terres forestières ou prairies) à des échelles spatiales plus fines permettant de capturer les variations des valeurs des stocks de carbone spécifiques au pays en fonction des systèmes cultureux et des régions.

Deuxièmement, le niveau 2 peut modifier l'hypothèse selon laquelle les stocks de carbone sont nuls immédiatement après la conversion, et les pays peuvent ainsi comptabiliser les transitions d'affectation des terres

² On devra supposer que tous les pools de litière et de bois mort (estimés à l'aide des méthodes décrites au chapitre 2, section 2.3.2) sont oxydés après la conversion des terres.

lorsqu'une partie de la végétation de l'affectation des terres originale est extraite, mais pas sa totalité.

Troisièmement, au niveau 2 les *bonnes pratiques* exigent une répartition des pertes de carbone entre le brûlage et les processus de décomposition, le cas échéant. Les émissions de dioxyde de carbone sont le résultat du brûlage et de la décomposition lors de conversions d'affectations des terres. De plus, on a des émissions de gaz traces sans CO₂ dues au brûlage. En répartissant les pertes dues au brûlage et à la décomposition, les pays pourront aussi calculer les émissions de gaz traces sans CO₂ dues au brûlage (section 5.3.4).

Les impacts immédiats d'activités de conversion des terres sur les cinq stocks de carbone peuvent être résumés à l'aide d'une matrice de perturbations, qui décrit la rétention, les transferts et les pertes de carbone des pools de l'écosystème d'origine, suite à une conversion en terres cultivées. La matrice de perturbations définira pour chaque pool la proportion restant dans le pool et la proportion transférée à d'autres pools. Seuls quelques transferts sont possibles. Ils sont présentés sous la forme d'une matrice de perturbations au tableau 5.7. La matrice de perturbations permet de comptabiliser tous les pools de carbone de manière cohérente.

Les transferts de la biomasse au bois mort et à la litière peuvent être estimés à l'aide de l'équation 2.20.

Niveau 3

Structurellement, les calculs de niveau 3 sont similaires au niveau 2, hormis les différences suivantes : i) les pays peuvent employer des estimations directes de superficies spatialement désagrégées converties annuellement pour toutes les affectations initiales et finales des terres, plutôt qu'avoir des taux moyens annuels de conversions ; ii) les densités de carbone et variations des stocks de carbone des sols sont tirées d'informations locales spécifiques, permettant de lier dynamiquement la biomasse et les sols ; et iii) les volumes de biomasse sont tirés d'inventaires réels. Les transferts de la biomasse au bois mort et à la litière suite à une conversion d'affectation des terres peuvent être estimés à l'aide de l'équation 2.20.

Vers : De :	Biomasse aérienne	Biomasse sou- terrain	Bois mort	Litière	matière organique des sols	produits ligneux récoltés	Atmos- phère	Som- me de la ligne (doit être égale à 1)
Biomasse aérienne								
Biomasse souterraine								
Bois mort								
Litière								
Matière organique des sols								

Entrer la proportion de chaque pool indiqué à gauche de la matrice transférée au pool situé en haut de chaque colonne. Les pools à gauche de la matrice doivent tous être renseignés de manière exhaustive, et les valeurs de chaque ligne doivent être égales à 1. Les transferts impossibles sont coloriés en noir.

5.3.1.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSION/ABSORPTION

Pour la méthode par défaut, il faut disposer des facteurs d'émissions et d'absorptions suivants : stocks de carbone avant la conversion pour l'affectation des terres initiale et après la conversion en terres cultivées, plus croissance des stocks de carbone de la biomasse pendant une année de croissance des terres cultivées.

Niveau 1

Les stocks de carbone de la biomasse par défaut pour les catégories d'affectation des terres initiales (B_{AVANT}), principalement terres forestières et prairies, se trouvent au tableau 5.8. Les stocks de carbone de l'affectation des terres initiale doivent être déterminés pour différentes catégories de terres forestières et de prairies en fonction du type de biome, du climat, des systèmes de gestion des sols, etc. On suppose que toute la biomasse a été défrichée lors de la préparation du site pour en faire une terre cultivée ; la valeur par défaut de $B_{APRÈS}$ est donc de 0 tonne C ha⁻¹.

Il faudra en plus obtenir une valeur pour les stocks de carbone au bout d'une année de croissance des cultures plantées après la conversion (ΔC_{Cce}). Les valeurs par défaut de ΔC_{Cce} se trouvent au tableau 5.9. Des valeurs par défaut séparées sont fournies pour les cultures non ligneuses annuelles et les cultures ligneuses vivaces. Pour les terres plantées en cultures annuelles, la valeur par défaut de ΔC_{Cce} est de 5 tonnes de C par hectare, en fonction des recommandations originales des *Lignes directrices GIEC* de 10 tonnes de biomasse sèche par hectare (la biomasse sèche est convertie en tonnes de carbone au tableau 5.9). L'accumulation totale de carbone dans la biomasse ligneuse vivace sera au bout d'un moment plus importante que celle des stocks de carbone par défaut pour les terres cultivées annuelles. Néanmoins les valeurs par défaut fournies dans la présente section sont valables pour l'année de croissance immédiatement la conversion, c'est-à-dire des stocks de carbone normalement plus faibles pour les cultures ligneuses vivaces que pour les cultures annuelles.

Catégorie d'affectation des terres	Stock de carbone de la biomasse avant conversion (B_{AVANT}) (tonnes C ha ⁻¹)	Plage d'erreur #
Terres forestières	Voir aux tableaux 4.7 à 4.12 du chapitre 4 les stocks de carbone pour divers types de forêts par régions climatiques. Les stocks sont exprimés en termes de matière sèche. <i>Multiplier les valeurs par une fraction de carbone (FC) de 0,5 pour convertir la matière sèche en carbone.</i>	Voir section 4.3 : Terres converties en terres forestières
Prairies	Voir au chapitre 6 les stocks de carbone pour divers types de prairies par régions climatiques.	± 75%

Représente une estimation d'erreur nominale, équivalente à deux fois l'écart type, en tant que pourcentage de la moyenne.

Type de culture par région climatique	stock de carbone de la biomasse après une année (ΔC_{Cce}) (tonnes C ha ⁻¹)	Plage d'erreur #
Cultures annuelles	5,0	± 75%
Cultures vivaces		
Tempérée (tous les régimes hygrométriques)	2,1	± 75%
Tropicale, sèche	1,8	± 75%
Tropicale, humide	2,6	± 75%
Tropicale, pluvieuse	10,0	± 75%

Représente une estimation d'erreur nominale, équivalente à deux fois l'écart type, en tant que pourcentage de la moyenne.

Niveau 2

Les méthodes de niveau 2 devront inclure des estimations spécifiques au pays des stocks de la biomasse et des pertes dues à la conversion en terres cultivées, ainsi que des estimations des pertes sur site et hors site dues au brûlage et à la décomposition après conversion en terres cultivées. Ces améliorations peuvent être des études systématiques de la teneur en carbone et des émissions et absorptions associées aux affectations des terres et conversions dans le pays, et un nouvel examen des hypothèses par défaut dans le contexte national spécifique.

Des paramètres par défaut pour les émissions dues au brûlage et à la décomposition sont fournis, mais les pays sont invités à établir des coefficients spécifiques pour améliorer l'exactitude de leurs estimations. Les *Lignes directrices du GIEC* utilisent une valeur générale par défaut de 0,5 pour la fraction de biomasse brûlée sur site pour les conversions de forêts et de prairies. Des études montrent l'extrême variabilité de cette fraction de biomasse, qui peut descendre jusqu'à 0,2 (Fearnside, 2000 ; Barbosa et Fearnside, 1996 ; et Fearnside, 1990). Le chapitre 4 (*Terres forestières*) contient des valeurs par défaut, mises à jour, de la biomasse brûlée sur site, pour des catégories de végétation forestière. On utilisera ces valeurs par défaut pour les conversions de forêts en terres cultivées. Pour les autres affectations de terres initiales, la valeur par défaut de la fraction de biomasse brûlée sur site est de 0,35. Cette valeur reflète des études scientifiques, selon lesquelles la fraction devrait se situer entre 0,2 et 0,5 (Fearnside, 2000 ; Barbosa et Fearnside, 1996 ; et Fearnside, 1990). Conformément aux *bonnes pratiques*, les pays devront utiliser 0,35, ou une autre valeur dans cette plage, à condition de documenter la raison de leur choix. Il n'y a pas de valeur par défaut pour la fraction de biomasse transférée et brûlée hors site ; les pays devront calculer cette fraction à l'aide de données nationales. Dans le chapitre 4 (*Terres forestières*) la valeur par défaut de la fraction de biomasse oxydée après brûlage est de 0,9, ce qui correspond à la valeur indiquée dans le *GPG-LULUCF*.

La méthodologie pour l'estimation des émissions dues à la décomposition suppose la décomposition de la totalité de la biomasse sur une période de dix ans. Lors de la préparation d'inventaires, les pays ont deux possibilités : 1) notifier toutes les émissions dues à la décomposition pour une année, en reconnaissant qu'en réalité les émissions se produisent sur dix ans, ou 2) notifier toutes les émissions dues à la décomposition sur une base annuelle, en estimant le taux comme à un dixième du total. Dans le second cas, ils devront ajouter à l'équation un facteur de multiplication de 0,10.

Niveau 3

Au niveau 3, tous les paramètres devront être définis par pays, avec utilisation de valeurs exactes et non pas de valeurs par défaut. On pourra également utiliser des modèles basés sur des processus et des fonctions de décomposition.

5.3.1.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Des estimations des superficies converties en terres cultivées sont nécessaires à tous les niveaux. On devra utiliser les mêmes estimations de superficies pour les calculs de la biomasse et du C des sols des *terres converties en terres cultivées*. Des données de superficies plus spécifiques sont requises pour les niveaux méthodologiques supérieurs. On devra, au minimum, identifier séparément la superficie des forêts et prairies naturelles converties en terres cultivées, pour tous les niveaux. On devra pour cela disposer d'informations sur les affectations des terres avant la conversion ; des jugements d'experts pourront être nécessaires si on utilise l'approche 1 du chapitre 3 des présentes lignes directrices pour l'identification des superficies.

Niveau 1

Ce niveau requiert des estimations séparées des superficies de terres converties, depuis l'utilisation initiale (terres forestières, prairies, établissements, etc.) jusqu'au type de culture finale (cultures annuelles ou vivaces) ($S_{VERS AUTRES}$). Par exemple, les pays devront estimer séparément la superficie des forêts tropicales humides converties en terres de cultures annuelles, des forêts tropicales humides converties en terres de cultures vivaces, des prairies tropicales humides converties en terres de cultures vivaces, etc. Mais pour permettre à d'autres pools d'entrer à l'équilibre et pour que les calculs correspondent aux estimations de superficies générales, les superficies de terres devront rester dans une catégorie de conversion pendant 20 ans (ou toute autre période reflétant les circonstances nationales) après la conversion. La méthodologie suppose que les estimations des superficies sont basées sur une échelle temporelle d'un an, pour laquelle il est probable qu'on effectue l'estimation en fonction de taux moyens de conversion des terres, déterminés par des estimations de mesures à intervalles temporels plus longs. Les pays qui n'ont pas accès à ces données peuvent extrapoler des échantillons partiels à la base terrestre complète ou extrapoler des estimations historiques de conversions dans le temps, après consultation d'experts nationaux. Au niveau 1, on peut utiliser des statistiques internationales telles que celles de la FAO, des rapports *IPCC GPG* et d'autres sources, avec des hypothèses valables, pour estimer la superficie des *terres converties en terres cultivées*, pour chaque affectation des terres initiale. Les calculs aux niveaux supérieurs utilisent des sources de données spécifiques au pays pour estimer toutes les conversions de terres possibles, avec identification de toutes les utilisations initiales et de tous les types de cultures finales.

Niveau 2

Conformément aux *bonnes pratiques*, les pays devront s'efforcer d'utiliser des estimations de superficies réelles pour toutes les conversions possibles entre les utilisations des terres initiales et le type de cultures final. Une couverture complète des superficies terrestres peut être obtenue par l'analyse d'images sur l'affectation des terres et les types de couverture terrestre, télédétektées périodiquement, par échantillonnage périodique, sur le terrain, des types d'affectation des terres, ou par des systèmes d'inventaires hybrides. Si le pays ne dispose que de certaines données plus fines spécifiques au pays, il devra chercher à extrapoler pour couvrir toute la base de

terres à l'aide d'hypothèses raisonnées formulées à partir des meilleures connaissances possibles. Des estimations historiques des conversions peuvent être extrapolées temporellement, après consultation d'experts nationaux.

Niveau 3

Les données sur les activités pour les calculs de niveau 3 devront refléter complètement toutes les conversions en terres cultivées et devront être désagrégées pour expliquer des contextes différents au sein d'un pays. Cette désagrégation peut être politique (région, province, etc.), liée au biome, au climat ou à une combinaison de ces paramètres. Bien souvent, les pays disposent d'informations sur les tendances sur plusieurs années en ce qui concerne la conversion des terres (provenant d'inventaires des affectations et de la couverture terrestre établis à partir d'échantillons périodiques ou de données télédéteectées). Des matrices des changements d'affectation des terres périodiques devront être élaborées, pour fournir les superficies d'affectation des terres initiales et finales au niveau désagrégé en fonction d'études de terrain et d'images télédéteectées.

5.3.1.4 ÉTAPES DE CALCUL DE NIVEAUX 1 ET 2

Un résumé des étapes d'estimation des variations des stocks de carbone de la biomasse (ΔC_B) à l'aide des méthodes par défaut est fourni ici :

À l'aide des feuilles de travail des *terres converties en terres cultivées* (voir annexe 1 – Feuilles de travail AFAT), calculer les variations des stocks de carbone de la biomasse des *terres converties en terres cultivées* :

Étape 1 : Inscrire les sous-catégories de terres cultivées pour l'année d'inventaire. Les sous-catégories de terres cultivées employées à la section 5.2 peuvent être utilisées pour remplir les colonnes appropriées des feuilles de travail.

Étape 2 : Inscrire la superficie annuelle de terres converties en terres cultivées pour chaque sous-catégorie ($S_{VERS\ AUTRES}$). Les données correspondant à la superficie annuelle sont disponibles auprès de diverses sources comme le ministère des Forêts, de l'Agriculture, de la Planification ou l'organisme responsable de la cartographie du pays.

Étape 3 : Inscrire les stocks de carbone de la biomasse immédiatement après conversion en terres cultivées ($B_{APRÈS}$), en tonnes C ha⁻¹, pour chaque sous-catégorie. Les données de la biomasse et du carbone peuvent être spécifiques au pays ou des valeurs par défaut.

Étape 4 : Inscrire les stocks de carbone de la biomasse immédiatement avant conversion en terres cultivées (B_{AVANT}), en tonnes C ha⁻¹, pour chaque sous-catégorie. Les données de la biomasse et du carbone peuvent être spécifiques au pays ou des valeurs par défaut.

Étape 5 : Calculer les variations des stocks de carbone par superficie ($C_{CONVERSION}$) pour chaque type de conversion de terres converties en terres cultivées (équation 2.16).

Étape 6 : Calculer la valeur des variations des stocks de carbone d'une année de croissance des terres cultivées (ΔC_{CCe}) et la diminution du carbone de la biomasse due aux pertes (ΔC_P) à l'aide du tableau 5.1. Renseigner les valeurs dans la colonne appropriée.

Étape 7 : Calculer les variations annuelles des stocks de carbone de la biomasse des *terres converties en terres cultivées* (ΔC_B) à l'aide de l'équation 2.15.

Étape 8 : Additionner toutes les variations annuelles des stocks de carbone de la biomasse.

5.3.1.5 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Niveau 1

Les sources d'incertitude à ce niveau méthodologique sont liées à l'utilisation de taux de conversion moyens globaux ou nationaux et d'estimations des superficies converties en terres cultivées. Par ailleurs, l'emploi de paramètres par défaut pour les stocks de carbone au début et à la fin de la période étudiée est un facteur contribuant à l'incertitude relativement élevée des estimations. Les valeurs par défaut utilisées pour la présente méthode ont des plages d'erreur correspondantes associées. Les données par défaut de la section 5.2 sont tirées d'un inventaire publié des recherches effectuées sur les stocks de carbone des systèmes agroforestiers (Schroeder, 1994). Les valeurs par défaut sont tirées de plusieurs études, mais la publication ne précise pas leurs plages d'incertitude. En conséquence, les experts ont estimé que le niveau d'incertitude par défaut était de $\pm 75\%$ de la valeur du stock de carbone. Les *terres converties en terres cultivées* formeront probablement une catégorie clé pour de nombreux pays ; il faudra donc chercher à réduire l'incertitude.

Niveau 2

La méthodologie de niveau 2 utilise un certain nombre de valeurs spécifiques au pays, qui amélioreront l'exactitude des estimations, car elles sont plus représentatives des conditions propres au pays. L'utilisation de valeurs spécifiques au pays devrait faire appel à des tailles d'échantillons suffisantes ou à l'opinion d'experts pour l'estimation des incertitudes, lesquelles, avec les estimations des incertitudes des données d'activités obtenues conformément aux recommandations du chapitre 3, devront être utilisées pour l'analyse de l'incertitude décrite au chapitre 3, volume 1, du présent rapport.

Niveau 3

Les données sur les activités d'un système d'inventaires sur les affectations et la gestion des terres permettront d'attribuer des estimations d'incertitude aux superficies associées aux changements d'affectation des terres. On peut combiner des données sur les émissions et sur les activités et leur incertitude associée à l'aide d'analyses Monte Carlo pour estimer les moyennes et les intervalles de confiance pour l'ensemble de l'inventaire. L'incertitude sera probablement moins élevée qu'à d'autres niveaux, car les estimations des variations des stocks de carbone se basent ici sur un nombre plus élevé de mesures et des modèles plus fins.

5.3.2 Matière organique morte

Les terres forestières, les prairies, les établissements et d'autres catégories d'affectation des terres sont susceptibles d'être converties en terres cultivées sur lesquelles on trouve généralement peu ou pas de bois mort et de litière, à l'exception des systèmes agroforestiers. Les méthodes fournies concernent deux types de pools de matière organique morte : 1) le bois mort et 2) la litière. Ces pools sont définis précisément au chapitre 1 du présent rapport.

Le bois mort est un pool varié difficile à mesurer et présentant des incertitudes relatives aux taux de transfert à la litière, au sol, ou aux émissions vers l'atmosphère.

L'accumulation de litière dépend de la chute de litière, y compris toutes feuilles, brindilles et petites branches, fruits, fleurs, et écorce, moins le taux annuel de décomposition. La masse de litière est également influencée par le temps écoulé depuis la dernière perturbation, et le type de perturbation. Au début du développement des terres cultivées, la litière augmente rapidement. Les pratiques de gestion telles que la récolte de végétation, le brûlage et le pacage altèrent énormément les stocks de litière, mais peu d'études existent sur l'impact spécifique de la gestion sur le carbone de la litière.

En général, les terres cultivées présentent peu de bois mort, de résidus de récoltes ou de litière – voire pas du tout –, en conséquence on peut supposer que ces pools sont quasiment nuls après la conversion, sauf dans les systèmes agroforestiers qui peuvent entrer dans les catégories terres cultivées ou terres forestières, en fonction des définitions adoptées par le pays pour l'établissement des rapports. En toute probabilité, on aura la même situation pour de nombreuses affectations des terres avant conversion – on peut donc aussi supposer que les pools de carbone correspondants sont nuls avant la conversion, à l'exception des forêts, des agro-forêts et des terres humides converties en terres cultivées, dont les pools de MOM pourraient renfermer une quantité importante de carbone, mais aussi des zones forestières autour des établissements pouvant avoir été définies comme établissements en raison de l'affectation géographiquement proche plutôt que de la couverture terrestre.

Aux niveaux plus élevés, l'estimation des variations des stocks de carbone de la MOM des terres converties en terres cultivées requiert une approche en deux temps : une première phase au cours de laquelle on a un changement abrupt de la MOM associé au changement d'affectation des terres, notamment lorsque le changement est délibéré et associé à des opérations de préparation des terres (par exemple, défrichage ou brûlage) ; et une seconde phase qui correspond aux processus de décomposition et d'accumulation pendant la période de transition à un nouveau système stable. L'écosystème des terres cultivées devrait atteindre, à un moment donné, un état d'équilibre qui permettra de le considérer comme terre cultivée restant terre cultivée et il sera inclus dans cette catégorie. La période de transition par défaut est de 20 ans, mais aux niveaux plus élevés certains pays détermineront la période de transition appropriée de manière plus précise.

Les terres converties en terres cultivées doivent être traitées comme des cohortes annuelles, permettant de prendre en compte la période de transition ; en d'autres termes les terres converties pendant une année donnée doivent être prises en compte par les méthodes de phase 1 pendant l'année de conversion, et par les méthodes de phase 2 pour les 19 années suivantes. Au bout des 20 ans, la superficie de terres de l'année en question est ajoutée à la superficie de terres comptabilisée à la catégorie *terres cultivées restant terres cultivées*.

5.3.2.1 CHOIX DE LA METHODE

Le diagramme décisionnel présenté à la figure 2.3 du chapitre 2 fournit des recommandations sur la sélection du niveau approprié pour la procédure d'estimation. Pour estimer les variations des stocks de carbone de la MOM,

on devra estimer les variations des stocks de bois mort et de litière (voir équation 2.17 au chapitre 2).

Tous les pools de MOM (bois mort et litière) doivent être traités séparément, mais la méthode est la même.

Niveau 1

Au niveau 1, l'approche requiert d'estimer la superficie de tous les types de conversions de terres en n'employant que les grandes catégories de conversion (par exemple terres forestières converties en terres cultivées). Au niveau 1, les variations des stocks de carbone immédiates et abruptes (phase 1) du bois mort et de la litière dues à la conversion d'autres terres en terres cultivées sont estimées à l'aide de l'équation 2.23 du chapitre 2. C_0 dans l'équation 2.23 sera probablement nul, il ne sera donc pas nécessaire de diviser T_{a-n} . Les valeurs par défaut de niveau 1 supposent que tout le bois mort et la litière est extrait pendant la conversion et par conséquent qu'il n'y a pas de bois mort ou de litière restant ou accumulés dans les *terres converties en terres cultivées*. Les pays pour lesquels on sait que cette hypothèse est fautive (par exemple lorsqu'on y pratique largement le brûlage des résidus) sont encouragés à employer un niveau plus élevé pour les terres converties en terres cultivées. Par ailleurs, on suppose que la biomasse des terres cultivées atteint un état d'équilibre au cours de la première année suivant la conversion. Au niveau 1, la phase 2 n'a donc pas de période de transition et les terres converties en terres cultivées sont transférées à la catégorie *terres cultivées restant terres cultivées* pendant la deuxième année suivant la conversion.

Pour la plupart des systèmes, il n'existe aucune valeur par défaut disponible pour le bois mort ou la litière. Pour les forêts, s'il n'existe aucune valeur par défaut mondiale pour le bois mort, il y a des valeurs pour la litière (tableau 2.2 du chapitre 2). Ces valeurs sont exprimées en tonnes $C\ ha^{-1}$, et non pas en termes de stocks de litière. Les pays devront améliorer au maximum leurs estimations et utiliser des données locales provenant d'instituts de recherche agricole et forestière pour obtenir les meilleures estimations du bois mort et de la litière du système initial avant la conversion.

Niveau 2

Au niveau 2, les approches requièrent une désagrégation plus fine que celle du niveau 1. Les données sur les activités devront être présentées par régimes de gestion. Le niveau 2 emploie également l'approche en deux phases décrite ci-dessus.

De même que pour la biomasse (voir ci-dessus), les impacts immédiats des activités de conversion des terres sur les cinq pools de carbone peuvent être résumés par une matrice de perturbations, qui décrit la rétention, les transferts et pertes de carbone dans les pools de l'écosystème d'origine, suite à une conversion en terres cultivées. La matrice de perturbations définira la proportion de stock de carbone restant dans le pool et la proportion transférée à d'autres pools. Seuls quelques transferts sont possibles. Ils sont présentés sous forme de matrice de perturbations au tableau 5.7. La matrice de perturbations permet de comptabiliser tous les pools de carbone de manière cohérente.

Comme pour le niveau 1, les variations des stocks de carbone immédiates et abruptes du bois mort dues à la conversion d'autres terres en terres cultivées sont estimées, aux niveaux 2 et 3, à l'aide de l'équation 2.23 du chapitre 2. Pendant la période de transition, les pools gagnant ou perdant du carbone présentent souvent une courbe d'accumulation ou de pertes non linéaire, qui peut être représentée sous forme de matrices de transitions successives. Au niveau 2, on peut supposer qu'on a une fonction des changements linéaire ; au niveau 3, une approche basée sur ces méthodes devra utiliser une courbe réelle. Ces courbes s'appliquent à toutes les cohortes en transition pendant l'année de l'inventaire, afin d'estimer les variations annuelles des pools de litière et de bois mort.

Pour calculer les variations du carbone du bois mort et de la litière pendant la phase de transition, il existe deux méthodes :

Méthode 1 (également nommée **méthode gains-pertes**, voir équation 2.18 au chapitre 2) : Avec la méthode 1, on doit estimer la superficie de tous les types de conversions de terres et le transfert annuel moyen vers les stocks de litière et de bois mort et en provenance de ceux-ci. Pour cela il faut estimer les superficies de *terres converties en terres cultivées* en fonction de différents types de climats ou de terres cultivées, régimes de gestion, ou autres facteurs affectant significativement les pools de carbone de la litière et du bois mort et la quantité de biomasse transférée aux stocks de litière et de bois mort, et quantité de biomasse transférée depuis les stocks de litière et de bois mort, par hectare et en fonction de différents types de terres cultivées.

Méthode 2 (également nommée **méthode de différence des stocks**, voir équation 2.19 au chapitre 2) : Avec la méthode 2, on doit estimer la superficie de *terres converties en terres cultivées* puis les stocks de litière et de bois mort à deux points temporels différents, t_1 et t_2 . Les variations des stocks de litière et de bois mort pendant l'année d'inventaire sont obtenues en divisant les variations des stocks par la période (années) passée entre les deux mesures. La méthode de différence des stocks est utilisable pour les pays disposant d'inventaires périodiques. Elle correspond mieux aux pays ayant choisi des méthodes de niveau 3. Les méthodes de niveau 3 sont utilisées par les pays qui disposent de facteurs d'émissions spécifiques et de données nationales

substantielles. Les pays définissant leur propre méthodologie pourront se baser sur des inventaires précis de parcelles échantillons permanentes correspondant à leurs terres cultivées, et/ou des modèles.

Niveau 3

Au niveau 3, les pays devront se doter de méthodologies et de paramètres propres pour estimer les variations de la MOM. Ces méthodologies pourront être tirées des deux méthodes décrites plus haut, ou se baser sur d'autres approches, mais la méthode choisie devra toujours être documentée précisément.

La méthode 2 correspond mieux aux pays ayant choisi des méthodes de niveau 3. Les méthodes de niveau 3 sont utilisées par les pays qui disposent de facteurs d'émissions spécifiques et de données nationales substantielles. Les pays définissant leur propre méthodologie pourront se baser sur des inventaires précis de parcelles échantillons permanentes correspondant à leurs terres cultivées, et/ou des modèles.

5.3.2.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSION/ABSORPTION

Fraction de carbone : La fraction de carbone du bois mort et de la litière est variable et dépend de l'état de décomposition. Le bois est beaucoup moins variable que la litière ; on peut employer une valeur de 0,50 tonne C (tonne m.s.)⁻¹ pour la fraction de carbone.

Niveau 1

Au niveau 1, on suppose que les stocks de carbone de la litière et du bois mort des terres converties en terres cultivées sont perdus lors de la conversion et qu'il n'y a pas d'accumulation de nouvelle MOM sur les terres cultivées après la conversion. Les pays dans lesquels il y a des conversions importantes d'autres écosystèmes vers des terres cultivées renfermant beaucoup de bois mort ou de litière (par exemple, les systèmes de cultures par brûlis pour le défrichage, l'agroforesterie, etc.) sont encouragés à se doter de données nationales permettant de quantifier ces impacts et de les inclure dans les inventaires de méthodes de niveaux 2 ou 3.

Niveau 2

Selon les *bonnes pratiques*, on utilisera des données nationales sur le bois mort et la litière de différentes catégories de terres cultivées, en plus des valeurs par défaut, si l'on ne dispose pas de valeurs spécifiques au pays ou à la région pour toutes les catégories de terres cultivées. Les valeurs spécifiques au pays sur le transfert de carbone d'arbres vivants récoltés aux résidus de récoltes, sur les taux de décomposition (lorsqu'on a choisi la méthode 1, méthode de gains-pertes) ou les variations nettes des pools de MOM (pour la méthode 2, méthode de différence des stocks) pourront être tirées de facteurs d'expansion spécifiques au pays prenant en compte le type de terres cultivées, le taux d'utilisation de la biomasse, les pratiques de récoltes et la quantité de végétation endommagée lors des récoltes. Pour les régimes de perturbations, les valeurs spécifiques au pays devront être dérivées de recherches scientifiques.

Niveau 3

Pour estimer le carbone de la MOM à un niveau désagrégé national, on devra employer un inventaire national de l'affectation des terres, des modèles nationaux, ou un programme d'inventaire des gaz à effet de serre spécifique, avec des échantillonnages périodiques suivant les principes présentés à l'annexe 3A.3 du chapitre 3. Les données des inventaires pourront être associées à des études de modélisation qui capturent la dynamique de tous les pools de carbone des terres cultivées.

Au niveau 3, les méthodes permettent d'obtenir des estimations plus certaines qu'aux niveaux moins élevés, et la corrélation entre les pools de carbone individuels est plus grande. Certains pays ont élaboré des matrices de perturbations permettant de réattribuer le carbone de différents pools pour toutes les perturbations. Parmi les autres paramètres importants pour les modèles de budget de carbone de la MOM, on a les taux de décomposition, qui peuvent varier en fonction du type de bois et des conditions microclimatiques, et les procédures de préparation du site (par exemple, le brûlage contrôlé diffus ou le brûlage de pieux).

5.3.2.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Les données sur les activités doivent correspondre à celles utilisées pour estimer les variations de la biomasse sur les superficies de terres converties en terres cultivées. Elles pourront être tirées des statistiques nationales, ou obtenues auprès d'agences responsables de la gestion des forêts, d'agences de préservation de l'environnement, de municipalités, et d'organismes chargés de la cartographie, conformément aux principes généraux présentés au chapitre 3 et aux descriptions ci-dessus. On devra effectuer des vérifications par recoupement pour s'assurer que les terres converties annuellement sont représentées de manière exhaustive et cohérente, et pour éviter tout double comptage ou omission. Les données devront être désagrégées en fonction des catégories climatiques et grands types de terres cultivées. Les inventaires de niveau 3 devront disposer d'informations plus complètes sur l'établissement de nouvelles terres cultivées, avec des classes de sols et de climats, et une résolution spatiale et temporelle plus fine. Toutes les variations ayant eu lieu pendant la période sélectionnée comme période de

transition devront être incluses avec les transitions précédant la période de transition (20 ans par défaut) en tant que subdivision de la catégorie *terres cultivées restant terres cultivées*.

Des estimations des superficies converties en terres cultivées sont nécessaires à tous les niveaux. Il faudra utiliser les mêmes données sur la superficie pour les calculs de la biomasse, de la matière organique morte et du carbone des sols. On pourra éventuellement agréger les données des superficies utilisées pour l'analyse des sols afin qu'elles correspondent à l'échelle spatiale requise pour les plus petites estimations de la biomasse ; toutefois aux niveaux plus élevés, la stratification devra prendre en compte les principaux types de sols. Les données sur les superficies seront obtenues à l'aide des méthodes décrites au chapitre 3. Aux niveaux plus élevés, il faudra disposer de données plus précises ; mais l'exigence minimale des *Lignes directrices GIEC* est que les superficies de conversions de forêts soient identifiées séparément, et ce, parce que les forêts présentent en général une densité en carbone plus élevée avant la conversion. En conséquence, il faudra connaître au moins en partie la matrice des changements d'affectation des terres, et si les estimations des superficies des terres se font à l'aide des approches 1 et 2 du chapitre 3, on pourra devoir consulter des enquêtes supplémentaires permettant d'identifier la superficie de terres convertie de terres forestières en terres cultivées. Comme précisé au chapitre 3, lorsqu'on devra mener des enquêtes il sera souvent plus exact de déterminer directement les superficies soumises à une conversion que de les estimer à partir des divergences entre les superficies de terres totales soumises à une affectation particulière à différents points temporels.

5.3.2.4 ÉTAPES DE CALCUL AUX NIVEAUX 1 ET 2

Niveau 1

Étape 1 : Déterminer les catégories de conversions de terres à utiliser pour l'évaluation, et les superficies représentatives des conversions par année (S_{a-n}). Les données sur les superficies seront obtenues à l'aide des méthodes décrites au chapitre 3. Aux niveaux plus élevés, il faudra disposer de données plus précises ; mais l'exigence minimale des *Lignes directrices GIEC* au niveau 1 est que les superficies de conversions de forêts en terres cultivées soient identifiées séparément.

Étape 2 : Déterminer les stocks de litière et de bois mort (séparément) par hectare avant la conversion, pour toutes les catégories d'activités (ΔC_a).

Étape 3 : Déterminer les stocks de litière et de bois mort (séparément) par hectare après la conversion, par type de terres cultivées particulier, pour toutes les catégories d'activités (ΔC_n). Au niveau 1, on suppose que les stocks de litière et de bois mort après la conversion sont nuls.

Étape 4 : Calculer les variations nettes des stocks de litière et de bois mort par hectare pour tous les types de conversions en soustrayant les stocks initiaux des stocks finaux. Une valeur négative indiquera une diminution du stock.

Étape 5 : Convertir les variations nettes des stocks individuels en unités de tonnes C ha^{-1} en multipliant les variations nettes d'un stock par la fraction de carbone de ce même stock (0,40 tonne C (tonne m.s.) $^{-1}$ pour la litière, et 0,50 tonne C (tonne m.s.) $^{-1}$ pour le bois mort).

Étape 6 : Multiplier les variations nettes de chaque stock de C par la superficie convertie pendant l'année d'inventaire, pour obtenir les variations annuelles des stocks de carbone du bois mort et de la litière (ΔC_{MOM}).

Niveau 2

Étape 1 : Déterminer les catégories de conversions de terres à utiliser pour l'évaluation, et les superficies représentatives des conversions par année. Des superficies représentatives des divers stades de la conversion seront nécessaires pour l'estimation des terres lors de la phase de transition.

Étape 2 : Changements abrupts

- Déterminer les catégories d'activités à utiliser pour l'évaluation, et les superficies représentatives. La catégorie se définit par le type de conversion et, le cas échéant, la nature de la gestion de l'ancienne couverture terrestre et de la gestion des terres cultivées, par exemple : « conversion d'une forêt tropicale saisonnière abattue en culture céréalière ».
- Déterminer les stocks de litière et de bois mort (séparément) par hectare avant la conversion, pour toutes les catégories d'activités.
- Déterminer les stocks de litière et de bois mort (séparément) par hectare un an après la conversion en terres cultivées, pour toutes les catégories d'activités.
- Calculer les variations nettes des stocks de litière et de bois mort par hectare pour tous les types de conversions en soustrayant les stocks initiaux des stocks finaux. Une valeur négative indiquera une

diminution du stock.

- Convertir les variations nettes des stocks individuels en unités de tonnes C ha⁻¹, comme pour le niveau 1.
- Multiplier les variations nettes de chaque stock de C par la superficie convertie pendant l'année d'inventaire.

Étape 3 : Changements transitoires

- Déterminer les catégories d'activités et les cohortes à utiliser pour l'évaluation, et les superficies représentatives. La catégorie se définit par le type de conversion et, le cas échéant, la nature de la gestion de l'ancienne couverture terrestre et de la gestion des terres cultivées, par exemple : « conversion d'une forêt tropicale saisonnière abattue en pâturage de bétail avec fourrage exotique ».
- Déterminer le taux annuel de variations des stocks de litière et de bois mort (séparément) par type d'activités à l'aide de la méthode 1 (méthode gains-pertes) ou de la méthode 2 (méthode de différence des stocks) (voir ci-dessous) pour chaque cohorte de terres actuellement en phase de transition entre la conversion et un nouveau système stable de terres cultivées.
- Déterminer les stocks de litière et de bois mort de la cohorte au cours de l'année précédente (en utilisant, normalement, l'inventaire précédent).
- Calculer les variations des stocks de litière et de bois mort pour chaque cohorte en ajoutant le taux de variations nettes aux stocks de l'année précédente.
- Convertir les variations nettes des stocks individuels en unités de tonnes C ha⁻¹, comme au niveau 1.
- Multiplier les variations nettes de chaque stock de C par la superficie de chaque cohorte pour l'année d'inventaire.

Méthode 1 (méthode gains-pertes) – équation 2.18 au chapitre 2

- Déterminer les entrées annuelles moyennes de bois mort et de litière (séparément).
- Déterminer les pertes annuelles moyennes de bois mort et de litière (séparément).
- Calculer les variations nettes des pools de bois mort et de litière en soustrayant les sorties des entrées.
- Au niveau 2, on devra disposer de facteurs de variations des stocks spécifiques au système cultural et au pays, et utiliser les meilleures données locales disponibles – qu'il faudra aussi documenter.

Méthode 2 (méthode de différence des stocks) – équation 2.19 au chapitre 2

- Déterminer l'intervalle choisi pour l'inventaire, les stocks moyens de bois mort et de litière lors de l'inventaire initial, et les stocks moyens de bois mort et de litière lors de l'inventaire final.
- Utiliser ces chiffres pour calculer les variations nettes des stocks de litière et de bois mort en soustrayant le stock initial du stock final et en divisant cette différence par le nombre d'année entre les inventaires. Une valeur négative indiquera une diminution du stock.
- Au niveau 2, on devra disposer de facteurs de variations des stocks spécifiques au système cultural et au pays, et utiliser les meilleures données locales disponibles – qu'il faudra aussi documenter.

5.3.2.5 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

La présente section évoque les incertitudes par source relatives aux estimations des *terres converties en terres cultivées*. Parmi les sources d'incertitude, on compte le degré d'exactitude des estimations des superficies de terres, des pertes et gains de carbone, du stock de carbone, de la fraction de terres brûlée et des termes du facteur d'expansion. Il faudra effectuer des estimations d'erreurs (soit, déviations, erreurs ou plages types) pour tous les termes définis par le pays et utilisés pour l'évaluation de base des incertitudes.

Incertitudes des facteurs d'émission

Ces incertitudes seront les mêmes que celles associées à l'estimation des stocks de matière organique morte et de la litière par superficie unitaire d'affectation des terres précédente. Il n'est pas nécessaire d'estimer les incertitudes lorsqu'on suppose que la densité de carbone des pools de matière organique morte et de litière est nulle sur les terres cultivées. Dans le cas contraire, les incertitudes devront être évaluées en analysant les données locales et devront être supérieures à un facteur d'environ 2, pour les deux.

Incertitudes des données sur les activités

On obtiendra les données sur les superficies et les estimations des incertitudes à l'aide des méthodes décrites au chapitre 3. Aux approches de niveaux 2 et 3, on pourra employer des données sur les activités de plus haute résolution, pour différentes régions climatiques ou systèmes de gestion des terres cultivées dans le pays. Ainsi, les niveaux d'incertitude seront réduits par leur association à des facteurs d'accumulation du carbone de même résolution.

5.3.3 Carbone des sols

En général, on convertit des terres indigènes (terres forestières gérées et prairies) en terres cultivées, parfois les conversions se font à partir de terres humides, et rarement à partir d'établissements. Quel que soit le type de sol (minéral ou organique), la conversion de terres en terres cultivées entraînera généralement une perte du C des sols pendant plusieurs années après la conversion (Mann, 1986 ; Armentano et Menges, 1986 ; Davidson et Ackerman, 1993), à l'exception possible de l'irrigation de terres anciennement arides et de la conversion de terres dégradées en terres cultivées.

La section 2.3.3 du chapitre 2 fournit des informations générales et des recommandations sur l'estimation des variations des stocks de C des sols (avec des équations) : elle est à lire avant d'étudier les recommandations spécifiques aux stocks de C des sols des terres cultivées. Les variations totales des stocks de C des sols des terres converties en terres cultivées sont estimées à l'aide de l'équation 2.24 du chapitre 2, qui combine les variations des stocks de C organique des sols (stocks de COS) pour les sols minéraux et organiques, et les variations des stocks des pools de C inorganique des sols (niveau 3 uniquement). La présente section fournit des recommandations spécifiques sur l'estimation des variations des stocks de C organique des sols ; une discussion du C inorganique des sols est fournie à la section 2.3.3.1 (la section suivante, relative aux terres cultivées, ne fournit aucune information supplémentaire à ce sujet).

Pour comptabiliser les variations des stocks de C des sols associées aux terres converties en terres cultivées, les pays devront disposer au minimum d'estimations de la superficie de terres converties en terres cultivées pendant la période d'inventaire. Si les données sur l'affectation et la gestion des terres sont limitées, des données agrégées, comme les statistiques de la FAO, pourront être utilisées comme point de départ, en plus des opinions des experts du pays quant à la distribution approximative des types d'affectation des terres converties et de leur gestion. Lorsqu'on ne connaît pas les anciennes affectations et conversions des terres, les variations des stocks de COS pourront tout de même être calculées à l'aide des méthodes fournies dans la section terres cultivées restant terres cultivées, mais la base des terres sera probablement différente pour les terres cultivées dans l'année en cours par rapport à l'année initiale de l'inventaire. Il est toutefois essentiel que la superficie totale pour tous les secteurs d'affectation des terres soit égale sur toute la période d'inventaire (par exemple si 7 millions ha sont convertis de terres forestières et prairies en terres cultivées pendant la période d'inventaire, les terres cultivées gagneront 7 millions ha et les terres forestières et prairies perdront ces 7 millions ha correspondants pendant la dernière année d'inventaire). Les terres converties en terres cultivées sont stratifiées en fonction des régions climatiques et des principaux types de sols, en utilisant des classifications par défaut ou spécifiques au pays. Pour ce faire, on pourra superposer des cartes des sols et des climats, et utiliser en plus des données spatialement explicites sur l'emplacement des conversions de terres.

5.3.3.1 CHOIX DE LA METHODE

Les inventaires pourront être élaborés suivant des approches de niveau 1, 2 ou 3, chaque niveau requérant successivement plus de précisions et de ressources que le précédent. Certains pays emploieront différents niveaux pour préparer leurs estimations des diverses sous-catégories de C des sols (soit, variations des stocks du C organique des sols dans les sols minéraux et organiques, et variations des stocks associées aux pools de C inorganique des sols). La section 2.3.3.1 du chapitre 2 propose des diagrammes décisionnels pour les sols minéraux (figure 2.4) et les sols organiques (figure 2.5) afin d'aider les compilateurs d'inventaires à sélectionner le niveau approprié pour l'inventaire du C des sols de leur pays.

Sols minéraux

Niveau 1

Les variations des stocks du C organique des sols minéraux peuvent être estimées, pour la conversion d'affectation des terres en terres cultivées, à l'aide de l'équation 2.25 du chapitre 2. Au niveau 1, les stocks initiaux (avant la conversion) du C organique des sols ($COS_{(0-T)}$) et les stocks de C pendant la dernière année de la période d'inventaire (COS_0) sont calculés à partir des stocks de C organique des sols de référence par défaut (COS_{REF}) et des facteurs de variation des stocks par défaut (F_{AR} , $F_{Gestion}$, F_E). Les taux annuels de variations des stocks sont calculés en tant que différence entre les stocks (dans le temps) divisée par la dépendance temporelle

(D) des facteurs de variation des stocks des terres cultivées (20 ans par défaut).

Niveau 2

À l'approche de niveau 2 pour les sols minéraux, on emploie aussi l'équation 2.25 (chapitre 2), mais avec des stocks de C de référence et/ou des facteurs de variation des stocks spécifiques au pays et éventuellement des données d'activités sur les affectations des terres et l'environnement désagrégées.

Niveau 3

Aux approches de niveau 3, on aura des modèles spécifiques au pays plus précis, et/ou des approches basées sur des mesures et des données d'affectation et de gestion des terres très désagrégées. Les approches de niveau 3 effectuent une estimation des variations du C des sols dues aux conversions d'affectations des terres en terres cultivées, et peuvent employer des modèles, des ensembles de données et/ou des réseaux de surveillance. Il est recommandé d'intégrer les méthodes de niveau 3, si possible, aux estimations d'extraction de la biomasse et du traitement des résidus de plantes post-défrichage (y compris débris ligneux et litière), car les variations de l'extraction et du traitement des résidus (par exemple, brûlage, préparation du site) affecteront les entrées de C à la formation de la matière organique des sols et les pertes de C dues à la décomposition et à la combustion. Les modèles devront avoir été évalués en faisant des observations indépendantes sur des emplacements spécifiques au pays ou à la région représentatifs des influences du climat, des sols et de la gestion des terres cultivées sur les variations des stocks de C des sols post conversion.

Sols organiques

Niveau 1 et niveau 2

Les terres converties en terres cultivées sur des sols organiques pendant la période d'inventaire sont traitées de la même manière que les sols organiques cultivés sur le long terme. Les pertes de carbone sont calculées à l'aide de l'équation 2.26 (chapitre 2). Des recommandations supplémentaires sur les approches de niveaux 1 et 2 sont fournies à la section 5.2.3 (*terres cultivées restant terres cultivées*).

Niveau 3

Aux approches de niveau 3, on aura des modèles spécifiques au pays plus précis, et/ou des approches basées sur des mesures et des données d'affectation et de gestion des terres très désagrégées (voir ci-dessus la section sur les sols minéraux).

5.3.3.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSIONS ET DE VARIATIONS DES STOCKS

Sols minéraux

Niveau 1

Pour les terres indigènes non gérées, et pour les terres forestières gérées, les établissements et les prairies en théorie gérées dont les régimes de perturbations sont faibles, on suppose que les stocks de C des sols sont égaux aux valeurs de référence (soit, affectation des terres, perturbations (forêts uniquement), gestion et facteurs d'entrées égalent 1). Il sera toutefois nécessaire d'appliquer les facteurs de variation des stocks appropriés afin de représenter des systèmes d'affectation des terres précédents qui ne sont pas la condition de référence, comme les prairies améliorées ou dégradées. Il faudra également appliquer le facteur de variation des stocks approprié à la représentation des impacts de la gestion et des entrées sur le stockage de C des sols du nouveau système de terres cultivées. Les stocks de C de référence par défaut se trouvent au tableau 2.3 (chapitre 2). Les facteurs de variation des stocks par défaut se trouvent dans les chapitres des affectations des terres leur correspondant.

Pour les conversions d'affectation des terres transitoires en terres cultivées, les facteurs de variation des stocks se trouvent au tableau 5.10, et dépendent de la durée du cycle de rotation (récupération de la végétation) dans le système cultural itinérant, qui représente un stock de C des sols moyens pour le cycle de rotation des cultures. « Jachère longue » signifie toute situation où la végétation autre que les terres cultivées (par exemple, les forêts) retrouve un état mature ou presque mature avant d'être à nouveau défrichée pour en faire une terre cultivée, alors qu'avec la « jachère courte », la végétation ne retrouve pas son état mature avant le nouveau défrichage. Si des terres déjà soumises à des cultures itinérantes sont converties en terres cultivées permanentes (ou autre affectation des terres), les facteurs de variation des stocks représentant la culture itinérante fournissent les stocks de C « initiaux » ($COS_{(0-T)}$) des calculs de l'équation 2.25 (chapitre 2).

TABLEAU 5.10 FACTEURS DE VARIATION DES STOCKS DES SOLS (F_{Aft}, $F_{Gestion}$, F_E) POUR LES CONVERSIONS D'AFFECTATION DES TERRES EN TERRES CULTIVÉES					
Type de facteur	Niveau	Régime climatique	Valeur par défaut	Erreur [#]	Définition
Affectation des terres	Forêt ou prairie naturelle (non dégradée)	Tous	1	SO	Représente des forêts et prairies naturelles ou à long terme, non dégradées et à gestion durable.
		Tropical	1	SO	
Affectation des terres	Culture itinérante – jachère courte	Tropical	0,64	$\pm 50\%$	Culture itinérante permanente, dans laquelle des forêts tropicales ou des terres boisées sont défrichées pour permettre la plantation de cultures annuelles pendant un certain temps (3-5 ans, par exemple), puis abandonnées.
	Culture itinérante – jachère longue	Tropical	0,8	$\pm 50\%$	
Affectation des terres, gestion et entrées	Forêt gérée	Valeur par défaut = 1			
Affectation des terres, gestion et entrées	Prairie gérée	Voir au tableau 6.2 les valeurs par défaut			
Affectation des terres, gestion et entrées	Terre cultivée	Voir au tableau 5.5 les valeurs par défaut			
^{# 1} Représente une estimation d'erreur nominale, équivalente à deux fois l'écart type, en tant que pourcentage de la moyenne. SO signifie « sans objet » : les valeurs des facteurs constituent des valeurs de référence définies.					

Niveau 2

Pour l'approche de niveau 2, l'élément le plus important est l'estimation de facteurs de variation des stocks spécifiques au pays. Les différences des stocks de C organique des sols entre les affectations des terres sont calculées par rapport à une condition de référence, à l'aide des facteurs d'affectation des terres (F_{Aft}). Les facteurs d'entrées (F_E et les facteurs de gestion ($F_{Gestion}$) sont ensuite utilisés pour affiner encore les stocks de C du nouveau système de terres cultivées. Des recommandations supplémentaires sur la manière de dériver ces facteurs de variation des stocks se trouvent à la section 5.2.3.2, *terres cultivées restant terres cultivées*. Pour obtenir des informations sur la dérivation des facteurs de variation des stocks pour d'autres secteurs d'affectation des terres, voir la section leur correspondant (4.2.3.2 pour les terres forestières, 6.2.3.2 pour les prairies, 8.2.3.2 pour les établissements, et 9.3.3.2 pour les autres terres).

Pour une approche de niveau 2, les stocks de C de référence peuvent également être tirés des données spécifiques au pays. Néanmoins, les valeurs de référence doivent correspondre à celles des affectations des terres (c'est-à-dire terres forestières, terres cultivées, prairies, établissements et autres terres) ; les diverses équipes gérant les inventaires de C des sols au secteur AFAT doivent donc se coordonner.

Niveau 3

Il est peu probable qu'on puisse estimer des facteurs de variation des stocks en soi constants, mais plutôt des taux variables qui captureront plus exactement les effets des affectations et de la gestion des terres. Lire à la section 2.3.3.1 (chapitre 2) une discussion plus élaborée du sujet.

Sols organiques

Niveau 1 et niveau 2

Les terres converties en terres cultivées sur des sols organiques pendant la période d'inventaire sont traitées de la même manière que les sols organiques cultivés sur le long terme. Le tableau 5.6 présente les facteurs d'émission de niveau 1 ; pour le niveau 2, on dérivera les facteurs d'émission à partir de données spécifiques à la région ou au pays.

Niveau 3

Il est peu probable qu'on puisse estimer des facteurs de taux d'émissions en soi constants, mais plutôt des taux variables qui captureront plus exactement les effets des affectations et de la gestion des terres. Lire à la section 2.3.3.1 (chapitre 2) une discussion plus élaborée du sujet.

5.3.3.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Sols minéraux

Niveau 1 et niveau 2

Pour estimer les variations des stocks de carbone des sols, il faut stratifier les estimations des superficies des *terres converties en terres cultivées* en fonction des grandes régions climatiques et principaux types de sols. Pour ce faire, on pourra superposer des cartes des sols et des climats, et utiliser en plus des données spatialement explicites sur l'emplacement des conversions de terres. Des descriptions précises des méthodes de classification des climats et des sols par défaut sont fournies au chapitre 3, annexe 3A.5. Pour l'utilisation des données sur les activités relatives à l'affectation et la gestion des terres, des informations spécifiques sont fournies dans toutes les sections traitant des différentes affectations des terres (4.2.3.2 pour les terres forestières, 5.2.3.2 pour les terres cultivées, 6.2.3.2 pour les prairies, 8.2.3.2 pour les établissements, et 9.3.3.2 pour les autres terres).

Le type de données disponibles sur les activités d'affectation et de gestion des terres est une question essentielle pour l'évaluation des impacts des *terres converties en terres cultivées* sur les stocks de C organique des sols. Les données d'activités rassemblées aux approches 2 ou 3 (lire au chapitre 3 plus d'informations sur les approches) permettent de déterminer l'affectation des terres précédente pour les *terres converties en terres cultivées*. À l'inverse, les données agrégées (approche 1, chapitre 3) ne fournissent que le total des superficies pour chaque terre au début et à la fin de la période d'inventaire (par exemple, 1985 et 2005). Les données d'approche 1 ne suffisent pas à déterminer les transitions spécifiques, auquel cas il faudra inscrire toutes les terres cultivées dans la catégorie terres cultivées restant terres cultivées et les transitions deviennent alors des étapes du changement de paysage. Il sera donc nécessaire de coordonner chaque secteur de terres pour que la base des terres totale soit toujours constante, en gardant à l'esprit que certains secteurs perdront ou gagneront des superficies de terres à chaque année d'inventaire, en raison des changements d'affectation des terres.

Niveau 3

Au niveau 3, pour appliquer des modèles dynamiques et/ou effectuer un inventaire direct basé sur des mesures, les pays devront disposer de données aussi précises, voire plus précises qu'aux niveaux 1 et 2 sur les combinaisons de climats, de sols, de topographie et de gestion ; toutefois les besoins exacts dépendront du modèle ou du plan de mesures.

Sols organiques

Niveaux 1 et 2

Les *terres converties en terres cultivées* sur des sols organiques pendant la période d'inventaire sont traitées de la même manière que les sols organiques cultivés sur le long terme, et les recommandations relatives aux données sur les activités se trouvent à la section 5.2.3.3.

Niveau 3

Comme pour les sols minéraux, les approches de niveau 3 nécessiteront sans doute des données plus précises sur les combinaisons de climats, de sols, de topographie et de gestion. Par rapport aux méthodes de niveau 1 ou 2, les exigences exactes dépendront de la conception du modèle ou des mesures.

5.3.3.4 ÉTAPES DE CALCUL DE NIVEAU 1

Sols minéraux

Les étapes d'estimation de COS_0 et $COS_{(0-T)}$ et des variations nettes des stocks de C des sols par ha de *terres converties en terres cultivées* sur des sols minéraux sont les suivantes :

Étape 1 : Organiser les données par périodes d'inventaires en fonction des années pour lesquelles des données sur les activités ont été rassemblées (par exemple 1990 à 1995, 1995 à 2000, etc.)

Étape 2 : Déterminer la quantité de *terres converties en terres cultivées* par types de sols minéraux et de régions climatiques dans le pays au début de la première période d'inventaire. La première année d'inventaire dépendra du laps de temps observé par les données sur les activités (0-T ; par exemple il y a 5, 10 ou 20 ans).

Étape 3 : Pour les prairies converties en terres cultivées, classer les anciennes prairies en fonction du système de gestion approprié à l'aide de la figure 6.1. Au niveau 1, aucune autre classification n'est nécessaire pour d'autres affectations des terres.

Étape 4 : Attribuer des valeurs des stocks de C naturels de référence (COS_{REF}) tirées du tableau 2.3 en fonction des types de sols et des climats.

Étape 5 : Attribuer un facteur d'affectation des terres (F_{AFF}), un facteur de gestion ($F_{GESTION}$) et des niveaux d'entrée de C (F_E) à tous les types de prairies en fonction des classifications de la gestion (étape 2). Les

valeurs de F_{Aft} , F_{Gestion} et F_{E} se trouvent au tableau 6.2 pour les prairies. Pour toutes les autres affectations des terres, on suppose que les valeurs sont nulles.

Étape 6 : Multiplier ces facteurs (F_{Aft} , F_{Gestion} et F_{E}) par le stock de C des sols de référence pour estimer le stock de C organique des sols « initial » ($\text{COS}_{(0-T)}$) pour la période d'inventaire.

Étape 7 : Estimer le stock de C organique des sols final (COS_0) en répétant les étapes 1 à 5 à l'aide des mêmes stocks de C naturels de référence (COS_{REF}), mais avec des facteurs d'affectation et de gestion des terres et d'entrées qui permettent de représenter les conditions de la dernière année d'inventaire (an 0) pour les terres cultivées.

Étape 8 : Estimer les variations annuelles moyennes des stocks de C organique des sols des terres converties en terres cultivées ($\Delta C_{\text{Minéral}}$) en soustrayant le stock de C organique des sols « initial » ($\text{COS}_{(0-T)}$) du stock de C organique des sols final (COS_0), puis en le divisant par la dépendance temporelle des facteurs de variation des stocks (soit, 20 ans selon les facteurs par défaut). Note : Si la période d'inventaire est plus longue que 20 ans, le diviser ensuite par la différence entre les années initiales et finales de la période d'inventaire.

Étape 9 : Répéter les étapes 2 à 8 s'il y a des périodes d'inventaire supplémentaires (par exemple 1990 à 2000, 2001 à 2010, etc.). À noter que les *terres converties en terres cultivées* restent dans cette catégorie pendant 20 ans. Avec des périodes d'inventaire inférieures à 20 ans, on pourra devoir se référer à la période d'inventaire précédente pour savoir si une parcelle de terre devra être considérée comme *terre convertie en terre cultivée* ou *terre cultivée restant terre cultivée*.

L'exemple numérique ci-dessous traite des terres forestières converties en terres cultivées sur des sols minéraux, emploie l'équation 2.25 et les stocks de C de référence par défaut (tableau 2.3) ainsi que les facteurs de variation des stocks (tableau 5.5).

Exemple : Pour une forêt sur un sol volcanique dans un environnement tropical humide : $\text{COS}_{\text{Ref}} = 70$ tonnes C ha^{-1} . Les valeurs par défaut des facteurs de variation des stocks (F_{Aft} , F_{Gestion} , F_{E}) sont égales à 1 pour tous les sols forestiers et prairies naturelles ; en conséquence $\text{COS}_{(0-T)}$ est de 70 tonnes C ha^{-1} . Si les terres sont converties en prairies annuelles, avec un travail du sol intensif et de faibles entrées de C des résidus, alors $\text{COS}_0 = 70$ tonnes C $\text{ha}^{-1} \bullet 0,48 \bullet 1 \bullet 0,92 = 30,9$ tonnes C ha^{-1} . Les variations annuelles moyennes des stocks de C des sols pour la superficie pendant la période d'inventaire sont donc calculées ainsi : $(30,9 \text{ tonnes C } \text{ha}^{-1} - 70 \text{ tonnes C } \text{ha}^{-1}) / 20 \text{ ans} = -2,0$ tonnes C $\text{ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$.

Sols organiques

Les étapes de calcul et l'exemple sont les mêmes qu'à la section 5.2.3.4 ci-dessus.

5.3.3.5 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Les analyses d'incertitudes des *terres converties en terres cultivées* sont fondamentalement les mêmes que celles des *terres cultivées restant terres cultivées*. Il existe trois grandes sources d'incertitude : 1) les incertitudes relatives aux affectations et exploitation des terres et aux données sur l'environnement ; 2) les incertitudes relatives aux stocks de C des sols de référence si l'on utilise des approches de niveaux 1 ou 2 (uniquement sols minéraux) ; et 3) les incertitudes relatives aux facteurs d'émissions/de variations des stocks aux approches de niveaux 1 et 2, aux erreurs relatives à la structure du modèle/paramètres des approches basées sur des modèles, au niveau 3, ou aux erreurs de mesures/la variabilité de l'échantillonnage associées aux inventaires basés sur des mesures au niveau 3. Pour plus de précisions, lire la section sur les incertitudes des *terres cultivées restant terres cultivées* (Section 5.2.3.5).

5.3.4 Émissions de gaz à effet de serre sans CO₂ dues au brûlage de biomasse

Dans de nombreux pays, les émissions de gaz à effet de serre dues à la conversion de terres non cultivées, notamment les terres forestières et les prairies, en terres cultivées représenteront une catégorie clé. Des gaz à effet de serre sont émis sur les terres converties en terres cultivées par la combustion incomplète de la biomasse et de la matière organique morte (MOM) dans la catégorie d'affectation des terres initiale, avant la conversion. Les émissions de CO₂ sont alors comptabilisées dans la nouvelle catégorie d'affectation des terres (*terres converties en terres cultivées*). Les émissions sans CO₂ les plus importantes de la présente section sont attribuées aux terres forestières converties en terres cultivées, mais elles peuvent aussi exister lors de la conversion de

prairies en terres cultivées. Il est très peu probable que d'autres catégories d'affectation des terres (établissements, terres humides ou autres terres) soient converties en terres cultivées.

Dans les tropiques, il est commun de brûler les résidus forestiers successivement, jusqu'à ce que la plupart des résidus forestiers (ou la totalité) et de la MOM soient défrichées, pour y établir des cultures agricoles. Dans certains endroits, trois ou quatre brûlages sont nécessaires. Une partie de la biomasse aérienne forestière extraite pendant le processus de conversion des terres forestières en terres cultivées pourra avoir été transférée aux produits ligneux récoltés, et une partie pourra avoir été retirée du site pour être utilisée comme bois de chauffage (c'est-à-dire brûlée hors site). Le restant est normalement brûlé sur le site.

Les méthodes d'estimation des émissions de CO₂ dues au feu sur les *terres converties en terres cultivées* sont décrites à la section 2.4 du chapitre 2.

Il faudra inclure aux rapports les émissions sans CO₂ dues au brûlage de biomasse dans les terres forestières non gérées, si elles sont suivies d'une conversion d'affectation, puisque la terre convertie est considérée comme une terre gérée.

L'approche à utiliser pour estimer les émissions sans CO₂ dues au brûlage de biomasse des *terres converties en terres cultivées* est essentiellement la même que celle des *terres cultivées restant terres cultivées*.

5.3.4.1 CHOIX DE LA METHODE

Le diagramme décisionnel de la figure 2.6 du chapitre 2 fournit des recommandations sur la sélection du niveau à utiliser par les pays qui estiment les émissions sans CO₂ des *terres converties en terres cultivées*. Les pays qui connaissent beaucoup de conversions de terres non cultivées, notamment forestières, en terres cultivées, devront chercher à adopter des méthodes de niveau 2 ou 3.

Le choix de la méthode dépend directement de la disponibilité des données nationales sur la superficie de terres converties brûlées, la masse de combustible disponible et les facteurs d'émissions et de combustion. Aux niveaux plus élevés, on utilisera des données spécifiques au pays sur la masse de combustible disponible, afin de représenter la quantité de biomasse extraite pour la conversion, transférée aux produits ligneux récoltés (le cas échéant), extraite pour en faire du combustible et brûlée hors site.

Les pays devront chercher à utiliser des méthodes de niveau 2 ou 3 si les émissions de gaz à effet de serre dues au brûlage de biomasse sur les *terres converties en terres cultivées* sont une catégorie clé. Si les pays ont élaboré des modèles, et les ont validés, ils devront employer une méthode de niveau 3, même lorsque les *terres converties en terres cultivées* ne représentent pas une catégorie clé.

5.3.4.2 CHOIX DES FACTEURS D'EMISSION

Niveau 1

La masse de combustible brûlée est essentielle pour l'estimation des émissions de gaz à effet de serre. Des données par défaut sont présentées aux tableaux 2.4 à 2.6 du chapitre 2, pour l'estimation des émissions à l'approche de niveau 1. Les pays doivent voir si leurs types de végétation correspondent ou non aux grandes catégories de végétation décrites dans les tableaux par défaut. Au niveau 1, on suppose que tout le carbone de la biomasse aérienne et de la MOM de l'ancienne catégorie de terres est perdu immédiatement après la conversion. Les valeurs par défaut de la biomasse avant conversion se trouvent dans les chapitres correspondant aux affectations des terres respectives (par exemple, les facteurs par défaut des terres forestières se trouvent au chapitre traitant de la biomasse des terres forestières). Il faudra employer des estimations de la quantité de combustible réellement brûlée (tableau 2.4) pour calculer les émissions sans CO₂.

Niveau 2

À la méthode de niveau 2, il faudra utiliser des estimations spécifiques au pays de la masse de combustible disponible. Les données devront être désagrégées en fonction des types de forêts, pour le cas des terres forestières converties en terres cultivées. Il faudra développer des facteurs d'émissions et de combustion reflétant au mieux les conditions nationales (zone climatique, biome, conditions du brûlage) et fournir des plages d'incertitudes. En outre, contrairement au niveau 1 où l'on suppose que tout le carbone de la biomasse aérienne et de la MOM est perdu immédiatement après la conversion, au niveau 2 les transferts de biomasse aux produits ligneux récoltés et au bois de chauffage (brûlé hors site) devront être estimés pour obtenir des estimations fiables de la masse de combustible disponible à la combustion.

Niveau 3

Au niveau 3, tous les paramètres requis pour l'estimation des émissions de CO₂ et sans CO₂ doivent être développés au niveau national pour différents types de terres soumises à des conversions en terres cultivées

5.3.4.3 CHOIX DES DONNEES SUR LES ACTIVITES

Les données sur les activités nécessaires à l'estimation des émissions sans CO₂ dues au brûlage de la biomasse concernent les superficies affectées par cette activité. Les pays devront stratifier la superficie convertie en terres cultivées par terres forestières et prairies converties, car la quantité de combustible disponible au brûlage peut varier énormément d'une catégorie d'affectation des terres à l'autre. La conversion la plus importante est celle de terres forestières en terres cultivées, car elle renferme une grande quantité de biomasse par hectare. Conformément aux *bonnes pratiques*, on veillera à ce que la superficie utilisée pour l'estimation des gaz sans CO₂ corresponde à celle des sections relatives à la biomasse et à la MOM.

Niveau 1

Les pays ayant choisi une méthode de niveau 1 devront estimer les superficies converties en terres cultivées à partir de différentes affectations des terres initiales (terres forestières, prairies, etc.). En outre, les pays utilisant l'approche 1 du chapitre 3 devront chercher à stratifier plus avant les *terres converties en terres cultivées* à partir de différentes catégories d'affectation des terres. Il faudra estimer les conversions annuellement. Les estimations pourront être dérivées en appliquant un taux de conversion en terres cultivées à la superficie totale cultivée annuellement. Le taux pourra être estimé sur la base des connaissances passées, en demandant l'opinion d'experts et/ou à partir d'échantillons de superficies converties et d'évaluations de l'affectation des terres finale. Autre solution : dériver les estimations à l'aide de données tirées de sources internationales, comme la FAO, afin d'estimer la superficie de terres forestières et de prairies convertie annuellement, et demander l'opinion d'experts pour estimer la portion de superficie convertie en terres cultivées.

Niveau 2

Si possible, les pays devront utiliser des estimations des superficies réelles pour toutes les conversions possibles en terres cultivées. Des données télédéteectées périodiquement, de résolution adéquate, permettront d'obtenir de meilleures estimations des conversions d'affectation des terres que les approches du niveau 1. Leur analyse devra se baser sur la couverture complète du territoire ou des échantillons représentatifs sélectionnés, à partir desquels on pourra dériver des estimations des superficies converties en terres cultivées sur le territoire entier.

Niveau 3

Au niveau 3, les données sur les activités devront être obtenues à l'aide de la méthode d'approche 3, présentée au chapitre 3, pour laquelle on estime la superficie totale annuelle convertie en terres cultivées, à partir de terres forestières, prairies ou toute autre catégorie d'affectation des terres. Selon les *bonnes pratiques*, on élaborera une matrice de changements d'affectation des terres spatialement explicite telle que présentée au chapitre 3. Les données devront être désagrégées en fonction des types de biomes, climats, sols, frontières politiques, ou d'une combinaison de ces paramètres.

5.3.4.4 ÉVALUATION DES INCERTITUDES

Niveau 1

Les sources d'incertitude peuvent naître de : (i) l'emploi de taux moyens nationaux ou mondiaux de conversion ou d'estimations grossières des superficies de terres converties en terres cultivées ; (ii) l'utilisation d'estimations des superficies converties brûlées ; (iii) la masse de combustible disponible ; et (iv) les facteurs d'émissions et de combustion. Les incertitudes associées aux facteurs d'émissions et de combustion sont fournies, avec celles des éléments (i) et (ii) qui peuvent beaucoup changer en fonction de la méthode d'estimation employée.

En conséquence des ces incertitudes, au niveau 1 les estimations de superficies brûlées seront probablement inférieures à 20 %, et les émissions par unités de superficies resteront dans un facteur de 2.

Niveau 2

L'utilisation d'estimations de superficies tirées de sources plus fiables (données télédéteectées, échantillons) permettra d'améliorer l'exactitude par rapport au niveau 1 et à l'approche 1 du chapitre 3. Ce type de source permettra aussi d'obtenir de meilleures estimations des superficies converties et brûlées. Prendre en compte la biomasse transférée aux produits ligneux récoltés ou extraite du site pour en faire du bois de chauffage, et la biomasse laissée en décomposition sur le site, permettra d'éliminer le biais (surestimation) des estimations. Lorsqu'elles sont liées à des plages d'erreur (sous forme de déviations types), les estimations des facteurs d'émissions et combustion permettront d'évaluer les incertitudes associées aux *terres converties en terres cultivées*.

Niveau 3

L'incertitude est moindre et dépend de l'exactitude de la télédétection et des enquêtes de terrain, et de l'approche et des données de modélisation choisies.

5.4 EXHAUSTIVITE, SERIES TEMPORELLES, AQ/CQ ET ETABLISSEMENT DE RAPPORTS

Les informations présentées ici viennent en complément des recommandations générales sur ces questions présentées au volume 1.

5.4.1 Exhaustivité

Niveau 1

Au niveau 1, les inventaires des terres cultivées seront exhaustifs lorsqu'ils présenteront les trois éléments suivants : 1) les variations des stocks de carbone et les émissions sans CO₂ (CH₄, CO, N₂O, NO_x) dues au brûlage de biomasse pour toutes les *terres converties en terres cultivées* et *terres cultivées restant terres cultivées* pendant la période d'inventaire, 2) une analyse des inventaires qui prenne en compte les impacts de toutes les pratiques de gestion décrites aux méthodes de niveau 1, et 3) l'analyse des variations des climats et des sols qui influencent les émissions et absorptions (voir description au niveau 1).

Pour ces deux derniers éléments, il faudra attribuer des systèmes de gestion aux superficies de terres cultivées et stratifier les régions climatiques et les types de sols. Selon les *bonnes pratiques*, les pays utiliseront les mêmes classifications des superficies pour les pools de biomasse et des sols que pour le brûlage de biomasse (si tant est que ces classifications sont utiles à ces catégories de source). Ainsi, la cohérence et la transparence seront assurées, et on pourra utiliser les enquêtes relatives aux terres et autres outils de collecte des données de manière efficace, mais aussi lier les émissions et absorptions de dioxyde de carbone dans les pools de la biomasse et des sols, et les émissions sans CO₂ dues au brûlage de biomasse.

Pour l'estimation des stocks de C des sols et de la biomasse, l'inventaire des terres cultivées devra traiter des impacts de la gestion et des changements d'affectation des terres (*terres converties en terres cultivées*). Néanmoins dans certains cas les données sur les activités ou les opinions d'experts pourront ne pas suffire pour estimer les impacts de l'agroforesterie, des pratiques de rotation culturale, de travail du sol, d'irrigation, d'application de fumier, de gestion des résidus, etc. Les pays devront alors formuler l'inventaire en ne traitant que des affectations des terres, mais les résultats seront incomplets et l'omission des pratiques de gestion devra être clairement précisée dans la documentation des rapports, à des fins de transparence. S'il y a des omissions, les bonnes pratiques exigent qu'on collecte des données sur les activités supplémentaires pour les inventaires futurs, notamment si le C de la biomasse ou des sols est une catégorie de source clé.

Si les émissions et absorptions de gaz à effet de serre sont estimées très faibles ou constantes dans le temps – par exemple pour les terres cultivées non ligneuses où il n'y a aucune gestion ni changement d'affectation des terres –, on pourra ne pas calculer les variations des stocks de C. Si tel est le cas, les *bonnes pratiques* exigent que les pays documentent et expliquent les raisons des omissions.

Pour le brûlage de biomasse, les gaz à effet de serre sans CO₂ devront être estimés pour toutes les grandes catégories de résidus de récoltes, en veillant à prendre en compte les extractions de résidus du terrain à d'autres fins comme la production d'énergie, et les pertes de résidus dues au pâturage et à la décomposition entre les récoltes, et aux opérations de brûlage. Lorsqu'il y a des conversions de terres forestières en terres cultivées, les émissions dues au brûlage de MOM et la biomasse des arbres défrichés devront être incluses.

Niveau 2

Au niveau 2, pour être exhaustifs les inventaires présenteront les mêmes éléments qu'au niveau 1, mais avec des données spécifiques au pays : estimer les facteurs de variation des stocks de C, les stocks de C des sols de référence, les résidus (charge de combustible), les facteurs d'émissions et de combustion pour le brûlage de biomasse ; et décrire les climats et catégories de sols tout en améliorant les classifications des systèmes de gestion. En outre, selon les *bonnes pratiques*, les inventaires de niveau 2 devront incorporer des données spécifiques au pays à tous les éléments étudiés. Les inventaires seront toutefois considérés comme exhaustifs s'ils combinent des données spécifiques au pays avec des valeurs par défaut de niveau 1.

Niveau 3

En plus des éléments vus aux niveaux 1 et 2, l'exhaustivité des inventaires de niveau 3 dépendra des composantes du système d'évaluation spécifique au pays. En pratique, les inventaires de niveau 3 prendront probablement en compte toutes les émissions et absorptions des terres cultivées à l'aide de données plus fines sur les climats, sols, le brûlage de la biomasse et les systèmes de gestion. Selon les *bonnes pratiques*, les compilateurs d'inventaires décriront et documenteront les composantes du système spécifique au pays afin de prouver l'exhaustivité de l'approche et des sources des données. S'il existe des lacunes, il faudra, selon les *bonnes pratiques*, rassembler des données supplémentaires et développer encore le système du pays.

5.4.2 Développement d'une série temporelle cohérente

Niveau 1

Disposer d'une série temporelle cohérente est essentiel pour l'évaluation des tendances des émissions et absorptions. À des fins de cohérence, les compilateurs d'inventaires devront employer les mêmes classifications et facteurs pendant toute la période d'inventaire, y compris les climats, les types de sols, les classifications des systèmes de gestion, les facteurs de variations des stocks de C, les stocks de C des sols de référence, les estimations des résidus (charge de combustible), les facteurs de combustion, et les facteurs d'émissions sans CO₂. Des valeurs par défaut sont fournies pour toutes ces caractéristiques, en conséquence la cohérence ne devrait pas représenter de problème. En outre, la base terrestre devra également rester cohérente dans le temps, à l'exception des *terres converties en terres cultivées* ou des terres cultivées converties en d'autres affectations des terres.

Les pays devront employer dans tout l'inventaire des sources de données sur les activités cohérentes, qu'il s'agisse des affectations des terres, de la gestion ou du brûlage de la biomasse. Les approches d'échantillonnage, le cas échéant, devront être conservées pendant toute la durée de la période d'inventaire, pour en assurer la cohérence. Si des sous-catégories sont créées, les pays devront conserver des notes faciles à consulter de la manière dont elles ont été définies et les appliquer avec cohérence pendant tout l'inventaire.

Dans certains cas, les sources des données sur les activités, les définitions ou les méthodes peuvent changer dans le temps quand on dispose de nouvelles informations. Les compilateurs d'inventaires devront déterminer l'influence des changements de données ou de méthodes sur les tendances, et recalculer les émissions et absorptions de la série temporelle, si l'influence était considérée comme importante, à l'aide des méthodes présentées au chapitre 5 du volume 1.

Pour les variations des stocks de C, un élément clé pour produire une série temporelle cohérente sera de bien veiller à la cohérence entre les stocks de C des terres converties en terres cultivées existant dans d'anciennes périodes d'inventaires, et l'état de ces mêmes stocks pour les terres restant terres cultivées à la période d'inventaire actuelle. Par exemple, si 50 tonnes de biomasse aérienne vivante ont été transférées au pool de matière organique morte pour des terres forestières converties en terres cultivées pendant la période d'inventaire précédente, les rapports de la période actuelle devront supposer que les stocks de carbone de départ du pool de matière organique morte sont de 50 tonnes pour ces terres.

Niveau 2

En plus des questions évoquées au niveau 1, l'introduction d'informations spécifiques au pays requiert des considérations supplémentaires, notamment l'application à tout l'inventaire de nouvelles valeurs ou classifications dérivées d'informations spécifiques au pays, et le recalcul de la série temporelle, conformément aux *bonnes pratiques*, faute de quoi les tendances positives ou négatives des stocks de C ou du brûlage de biomasse pourraient être en partie dues à l'impact des modifications des méthodes d'inventaires à un moment donné de la série temporelle, sans représenter de véritables tendances.

Les nouvelles informations spécifiques au pays peuvent ne pas être disponibles pour toute la série temporelle, auquel cas il faudra, conformément aux *bonnes pratiques*, démontrer l'effet des changements des niveaux d'activité par rapport à des méthodes ou données spécifiques au pays mises à jour. Les recommandations sur les recalculs se trouvent au chapitre 5 du volume 1.

Niveau 3

Comme pour les niveaux 1 et 2, les bonnes pratiques exigent l'application d'un système d'estimation spécifique au pays pendant toute la série temporelle. Les agences chargées de l'inventaire devront employer les mêmes protocoles de mesures (stratégie d'échantillonnage, méthode, etc.) et/ou un système basé sur des modèles pendant toute la période d'inventaire.

5.4.3 Assurance de la qualité et contrôle de la qualité

Niveau 1

Conformément aux *bonnes pratiques*, on utilisera les procédures d'assurance de la qualité/contrôle de la qualité pour la révision interne et externe des données d'inventaire sur les terres cultivées. Les révisions internes devront être menées par l'agence chargée de l'inventaire, et les révisions externes par d'autres agences, experts ou groupes n'ayant pas été impliqués directement dans la compilation de l'inventaire.

La révision interne devra se concentrer sur le processus de mise en place de l'inventaire, pour veiller à ce que :

- 1) les données sur les activités aient été stratifiées de manière appropriée par régions climatiques et types de sols ;
- 2) les classifications/descriptions des gestions aient été appliquées de manière appropriée ;
- 3) les données sur les activités aient été bien retranscrites sur les feuilles de travail ou le logiciel utilisé pour l'inventaire ; et
- 4) les facteurs de variation des stocks, les stocks de C des sols de référence, les estimations des résidus (charge du

combustible), et les facteurs d'émissions et de combustion du brûlage de biomasse aient été attribués de manière appropriée. Les mesures d'assurance de la qualité/contrôle de la qualité pourront impliquer une inspection visuelle et des fonctions incluses dans le programme permettant de vérifier les entrées de données et les résultats. Il peut aussi être utile d'avoir des statistiques résumées, par exemple des superficies résumées par strates dans les feuilles de travail, pour vérifier qu'elles sont cohérentes avec les statistiques sur les affectations des terres. Les superficies totales devront rester constantes pendant toute la période d'inventaire, et les superficies par strates ne varieront que par affectation des terres ou classification de gestion (les superficies des sols et les climats devront rester constants).

La révision externe devra évaluer la validité de l'approche d'inventaire, la précision de la documentation présentée par l'inventaire, des méthodes d'explication et de la transparence générale. Il sera important d'évaluer le fait que la superficie totale de terres cultivées est réaliste ou non ; et les réviseurs devront vérifier les estimations des superficies par recoupement entre les catégories d'affectation des terres (terres forestières, terres cultivées, prairies, etc.) afin de s'assurer que la somme de la base terrestre totale du pays est égale pour chaque année de la période d'inventaire.

Niveau 2

En plus des mesures d'assurance de la qualité/contrôle de la qualité du niveau 1, l'agence chargée de l'inventaire devra revoir les régions climatiques, types de sols, classifications des systèmes de gestion, facteurs de variation des stocks de C, stocks de C de référence, estimations des résidus (charge de combustible), facteurs de combustion et/ou facteurs d'émissions sans CO₂ pour le brûlage de biomasse spécifiques au pays. Si les facteurs des sols se basent sur des mesures directes, l'agence chargée de l'inventaire devra revoir les mesures afin de s'assurer qu'elles sont représentatives des plages réelles des conditions environnementales et de la gestion, et qu'elles ont été menées conformément aux normes acceptées (IAEA, 1992). Si possible, les *bonnes pratiques* exigent de comparer les facteurs spécifiques au pays avec les facteurs d'émissions et de variations des stocks de niveau 2 utilisés par d'autres pays dans des circonstances comparables, en plus des valeurs par défaut du GIEC.

Étant donnée la complexité des tendances des émissions et absorptions, il faudra demander à des spécialistes du domaine de revoir, en externe, les estimations de la charge de combustible des résidus, les facteurs de variation des stocks, les facteurs d'émissions et de combustion et les régions climatiques spécifiques au pays, les types de sols, et/ou les descriptions des systèmes de gestion.

Niveau 3

Il est probable que les systèmes d'inventaires spécifiques au pays doivent faire l'objet de mesures d'assurance de la qualité/contrôle de la qualité supplémentaires, mais tout dépendra des systèmes élaborés. Selon les *bonnes pratiques*, on élaborera un protocole d'assurance de la qualité/contrôle de la qualité spécifique au système d'inventaire avancé du pays ; on archivera les résultats et on en inclura le résumé dans la documentation du rapport final.

5.4.4 Établissement de rapports et documentation

Niveau 1

En général, les bonnes pratiques exigent que l'on documente et archive toutes les informations requises par les estimations d'inventaire nationales. Au niveau 1, les compilateurs d'inventaires devront documenter les tendances des données sur les activités et les incertitudes relatives aux terres cultivées. Parmi les activités clés, on a : les changements d'affectation des terres, l'emploi d'engrais minéraux, les pratiques agroforestières, les amendements organiques, la gestion du travail du sol, les cultures par rotations, la gestion des résidus (brûlis y compris), les pratiques d'irrigation, l'étendue des systèmes culturels mixtes et la gestion de l'eau dans les systèmes rizicoles.

Conformément aux *bonnes pratiques*, on archivera les bases de données réelles comme les données des recensements agricoles, et les procédures utilisées pour traiter les données (programmes statistiques, etc.), les définitions utilisées pour catégoriser ou agréger les données sur les activités, et les procédures employées pour stratifier les données sur les activités par régions climatiques et types de sols (aux niveaux 1 et 2). Les feuilles de travail ou le logiciel d'inventaire devront être archivés avec les fichiers d'entrées/de sorties générés pour obtenir les résultats.

Lorsque les données sur les activités ne sont pas directement disponibles dans des bases de données ou lorsqu'on a combiné plusieurs ensembles de données, les informations, hypothèses et procédures utilisées pour dériver les données sur les activités devront être décrites. La documentation devra inclure la fréquence du rassemblement des données, leur estimation, et les incertitudes associées. Il faudra documenter toutes les opinions requises auprès d'experts, et en archiver la correspondance.

Selon les *bonnes pratiques*, on documentera les tendances des stocks de C des sols et de la biomasse, et on les expliquera, ainsi que celles du brûlage de biomasse par rapport à l'affectation des terres et l'activité de gestion.

Les variations des stocks de biomasse devront être liées directement à l'affectation des terres ou aux changements de pratiques agroforestières, alors que les tendances des stocks de C des sols pourront être dues à l'affectation des terres ou à des changements d'activités de gestion clés, comme décrit ci-dessus. Les émissions dues au brûlage de biomasse de résidus dépendront de l'étendue de l'emploi du brûlage pour préparer les champs avant la plantation. Il faudra expliquer toute fluctuation significative des émissions entre différentes années.

Les pays devront inclure des documents sur l'exhaustivité de leur inventaire, expliquer la cohérence de la série temporelle – ou son absence –, et résumer les mesures d'assurance de la qualité/contrôle de la qualité prises et leurs résultats.

Niveau 2

En plus des éléments vus au niveau 1, les compilateurs d'inventaires devront documenter la base sous-jacente des facteurs de variation des stocks de C spécifiques au pays, des stocks de C des sols de référence, de l'estimation des résidus (charge de combustible), des facteurs d'émissions et de combustion pour le brûlage de biomasse, des classifications des systèmes de gestion, des régions climatiques et/ou types de sols. En outre, les *bonnes pratiques* exigent l'archivage des métadonnées et des sources des données pour toutes les informations utilisées pour estimer les valeurs spécifiques au pays.

La documentation des rapports devra inclure les facteurs spécifiques au pays (soit, les moyennes et les incertitudes). Selon les *bonnes pratiques*, on inclura dans le rapport une discussion des différences entre les facteurs spécifiques au pays et les valeurs par défaut de niveau 1 ainsi que les facteurs par défaut de niveau 2 de régions aux circonstances similaires à celles du pays soumettant le rapport. Si l'on a utilisé différents facteurs d'émissions, paramètres ou méthodes pour différentes années, il faudra expliquer et documenter les motifs de ce choix. En outre, les agences chargées des inventaires devront décrire les classifications spécifiques au pays de la gestion, du climat et/ou des types de sols, et il est recommandé de documenter les améliorations apportées aux méthodes d'inventaires en fonction des nouvelles classifications. Par exemple, les pratiques de gestion du travail du sol peuvent être subdivisées en catégories supplémentaires au-delà des classes de niveau 1 (travail réduit, absence de travail du sol, travail du sol complet), mais des subdivisions supplémentaires permettront d'améliorer les estimations d'inventaires si les variations des stocks ou les facteurs d'émissions diffèrent beaucoup dans les nouvelles catégories.

Il faudra faire la différence entre les variations des niveaux d'activités et les variations des coefficients d'émissions d'une année sur l'autre, et expliquer les raisons de ces variations, lors de l'explication des tendances des émissions et absorptions.

Niveau 3

Si les inventaires de niveau 3 nécessiteront une documentation sur les données sur les activités et les tendances des absorptions/émissions similaire à celle des approches de niveaux moins élevés, il faudra néanmoins inclure de la documentation supplémentaire permettant d'expliquer la base sous-jacente et le cadre utilisés par le système d'estimation spécifique au pays. Pour les inventaires basés sur des mesures, les bonnes pratiques exigent la documentation du plan d'échantillonnage, des procédures employées en laboratoire et des techniques d'analyse des données. Il faudra archiver les données des mesures, avec les résultats obtenus par l'analyse des données. Pour les approches de niveau 3 utilisant des modèles, les bonnes pratiques exigent la documentation de la version du modèle et une description du modèle, ainsi qu'un archivage permanent des copies de tous les fichiers d'entrées du modèle, du code source et des programmes exécutables.

5.5 ÉMISSIONS DE METHANE DUES AU RIZ

La décomposition anaérobie du matière organique de rizières inondées produit du méthane (CH₄), qui s'échappe vers l'atmosphère principalement par les plants de riz (Takai, 1970 ; Cicerone et Shetter, 1981 ; Conrad, 1989 ; Nouchi *et al.*, 1990). La quantité annuelle de CH₄ émise depuis une superficie de rizières donnée dépend du nombre de cultures et de leur durée, des régimes hydriques avant et pendant la période de culture, et des amendements des sols organiques et inorganiques (Neue et Sass, 1994 ; Minami, 1995). Les types de sols, la température et le cultivar de riz affectent aussi les émissions de CH₄.

Les présentes lignes directrices de calcul des émissions de CH₄ ont été modifiées par rapport aux *Lignes directrices 1996* et au *GPG2000* : (i) révision des facteurs d'émissions et d'échelonnage dérivés d'analyses à jour des données disponibles, (ii) utilisation de facteurs d'émissions quotidiens (et non plus saisonniers) permettant de séparer les saisons culturales et les périodes de jachère de manière plus flexible, (iii) addition de facteurs d'échelonnage pour les régimes hydriques avant la période de culture et prise en compte du moment de l'incorporation de la paille, et (iv) inclusion d'une approche de niveau 3 correspondant aux principes généraux des lignes directrices 2006 révisées. Les lignes directrices révisées conservent la séparation du calcul des émissions de N₂O dues à la riziculture (en tant que sol géré), qui se trouve au chapitre 11.

5.5.1 Choix de la méthode

L'équation de base d'estimation des émissions de CH₄ dues à la riziculture se trouve à l'équation 5.1. On estime les émissions de CH₄ en multipliant le facteur d'émissions quotidiennes par la période de riziculture³ et les superficies récoltées annuelles⁴. Dans sa forme la plus simple, cette équation est utilisée avec des données sur les activités nationales (soit, la période de riziculture moyenne nationale et la superficie récoltée) et un facteur d'émissions unique. Toutefois, les conditions naturelles et la gestion agricole de la production de riz peuvent beaucoup varier dans un même pays. Selon les bonnes pratiques, on prendra cette variabilité en compte en désagrégeant les superficies récoltées nationales totales en sous-unités (par exemple, superficies récoltées sous différents régimes hydriques). Les superficies récoltées sont multipliées, pour chaque sous-unité, par la période de culture lui correspondant et le facteur d'émission représentatif des conditions définissant la sous-unité (Sass, 2002). Avec cette approche désagrégée, le total des émissions annuelles est égal à la somme des émissions de chaque sous-unité de superficie récoltée.

ÉQUATION 5.1
ÉMISSIONS DE CH₄ DUES A LA RIZICULTURE

$$CH_{4 \text{ Riz}} = \sum_{i,j,k} (FE_{i,j,k} \cdot t_{i,j,k} \cdot S_{i,j,k} \cdot 10^{-6})$$

Où :

- CH_{4 Riz} = émissions annuelles de méthane dues à la riziculture, Gg CH₄ an⁻¹
- FE_{ijk} = facteur d'émissions quotidiennes dans les conditions *i, j, et k*, kg CH₄ ha⁻¹ jour⁻¹
- t_{ijk} = période de riziculture dans les conditions *i, j, et k*, jour
- S_{ijk} = superficie de récolte de riz annuelle dans les conditions *i, j, et k*, ha an⁻¹
- i, j, et k* = représentent différents écosystèmes, régimes hydriques, types et quantités d'amendements organiques, et autres conditions dans lesquelles les émissions de CH₄ peuvent varier.

Il faudra prendre plusieurs éléments en compte, dont le type d'écosystème de riz, le type d'inondations avant et pendant la période de culture, et le type et la quantité d'amendements organiques. D'autres éléments comme le type de sol et de cultivar de riz pourront également être désagrégés si l'on dispose d'informations spécifiques au pays sur les relations entre ces éléments et les émissions de CH₄. La liste des types d'écosystèmes de riz et des régimes hydriques pendant la période de culture est dressée au tableau 5.12. Si la production nationale de riz peut être subdivisée en zones climatiques par systèmes de production (par exemple, types d'inondation), il faudra employer l'équation 5.1 pour chaque région, séparément. De même si l'on dispose de statistiques sur le riz ou de l'opinion d'experts permettant de séparer les pratiques de gestion ou autres facteurs en unités administrative (district ou province). En outre, si l'on fait plus d'une récolte au cours d'une année donnée, il faudra estimer les émissions pour chaque saison culturale, en prenant en compte les éventuelles différences entre les pratiques culturales (par exemple, emploi d'amendements organiques, type d'inondation avant et pendant la période de culture).

Le diagramme décisionnel de la figure 5.2 permet aux agences chargées de l'inventaire de choisir l'approche du GIEC conforme aux *bonnes pratiques*. Le diagramme décisionnel présente une hiérarchie implicite de désagrégation lors de la mise en place de la méthode GIEC. À l'intérieur de cette hiérarchie, le niveau de désagrégation employé par une agence d'inventaire dépendra de la disponibilité des données sur les activités et sur les facteurs d'émissions, mais aussi de l'importance du riz pour les émissions de gaz à effet de serre du pays. Les étapes et les variables spécifiques de ce diagramme décisionnel sont présentées dans le texte le suivant, avec la logique de sa composition.

Niveau 1

Le niveau 1 s'applique aux pays dans lesquels les émissions de CH₄ dues à la riziculture ne sont pas une catégorie clé ou pour lesquels on ne dispose pas de facteurs d'émissions spécifiques. Il faudra désagréguer la superficie annuelle de récoltes de riz en trois régimes hydriques minimum, y compris riz irrigué, riz pluvial, et riz de nappe. Il faudra incorporer le plus de conditions possibles (*i, j, k, etc.*) influençant les émissions de CH₄

³ En cas de recépage, la « période de culture » devra être allongée en fonction du nombre de jours respectif.

⁴ En cas de cultures multiples au cours de la même année, la « superficie récoltée » devra être égale à la somme des superficies cultivées par culture.

(résumées à l'encadré 5.2). Les émissions de toutes les sous-unités sont ajustées en multipliant un facteur d'émissions de base par défaut (pour les champs sans inondation pré-saisonnière pendant moins de 180 jours avant la riziculture et les champs inondés en permanence sans amendements organiques, FE_c) par différents facteurs d'échelonnement comme à l'équation 5.2. On effectue les calculs pour tous les régimes hydriques et amendements organiques séparément, comme à l'équation 5.1.

ENCADRE 5.2

CONDITIONS INFLUENÇANT LES ÉMISSIONS DE CH_4 DE LA RIZICULTURE

Les caractéristiques suivantes relatives à la riziculture doivent être prises en compte lors du calcul des émissions de CH_4 et de l'élaboration des facteurs d'émissions :

Différences régionales en termes de pratiques culturelles : Si le pays est vaste et s'il présente des régions agricoles distinctes aux climats et/ou systèmes de production différents (par exemple, types d'inondations), il faudra effectuer des calculs séparés pour chaque région.

Cultures multiples : Si l'on récolte plus d'une culture dans une superficie donnée de terres pendant l'année, et si les conditions de croissance varient en fonction des saisons culturales, il faudra effectuer des calculs pour chaque saison.

Régime hydrique : Dans ce chapitre, le régime hydrique se définit comme un mélange de (i) type d'écosystème et (ii) type d'inondation.

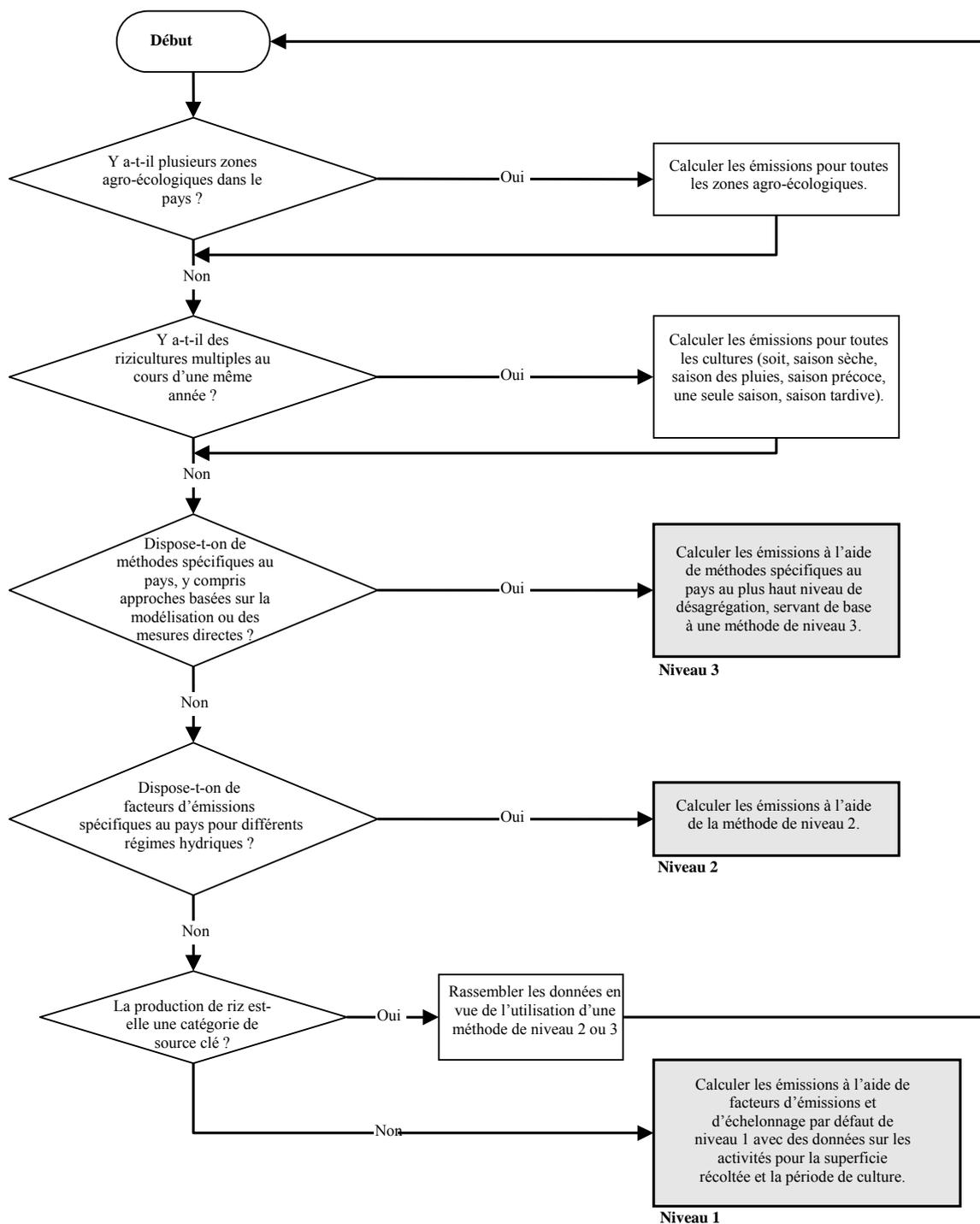
Type d'écosystème : Il faudra au moins faire des calculs séparés pour chaque type d'écosystème de riz (c'est-à-dire riz irrigué, riz pluvial et production de riz en eaux profondes).

Type d'inondation : Le type d'inondation des rizières a un impact important sur les émissions de CH_4 (Sass *et al.*, 1992 ; Yagi *et al.*, 1996 ; Wassmann *et al.*, 2000). Les écosystèmes de riz peuvent être encore divisés en rizières inondées en permanence ou de manière intermittente (riz irrigué), rizières pluviales régulières, susceptibles aux sécheresses, et rizières pluviales en eaux profondes, suivant les types d'inondations de la période de culture. Il faudra également prendre en compte le type d'inondation avant la période de culture (Yagi *et al.*, 1998 ; Cai *et al.*, 2000 ; 2003a ; Fitzgerald *et al.*, 2000).

Amendements organiques des sols : Le matériau organique incorporé dans les sols des rizières fait augmenter les émissions de CH_4 (Schütz *et al.*, 1989 ; Yagi and Minami, 1990 ; Sass *et al.*, 1991). L'impact des amendements organiques sur les émissions de CH_4 dépend du type et de la quantité de matériau appliqué, pouvant être décrit par une courbe de réaction aux doses (Denier van der Gon et Neue, 1995 ; Yan *et al.*, 2005). Le matériau organique incorporé dans les sols peut être d'origine endogène (paille, engrais vert, etc.), ou exogène (compost, fumier de ferme, etc.). Les calculs des émissions devront prendre les impacts des amendements organiques en compte.

Autres conditions : On sait que d'autres facteurs, comme le type de sol (Sass *et al.*, 1994 ; Wassmann *et al.*, 1998 ; Huang *et al.*, 2002), le cultivar de riz (Watanabe et Kimura, 1998 ; Wassmann et Aulakh, 2000), le sulfate contenant des amendements (Lindau *et al.*, 1993 ; Denier van der Gon and Neue, 2002), etc., peuvent fortement influencer les émissions de CH_4 . On encourage les agences chargées des inventaires à chercher à prendre en compte ces conditions si elles disposent d'informations spécifiques sur le lien entre ces conditions et les émissions de CH_4 .

Figure 5.2 Diagramme décisionnel pour les émissions de CH₄ dues à la riziculture



Note :

1. Voir au chapitre 4, volume 1, *Choix méthodologique et identification des catégories clés* (notamment la section 4.1.2 sur les limites des ressources) une discussion des *catégories clés* et de l'emploi des diagrammes décisionnels.

ÉQUATION 5.2
FACTEUR D'ÉMISSIONS AJUSTÉ QUOTIDIEN

$$FE_i = FE_c \bullet FEch_w \bullet FEch_p \bullet FEch_o \bullet FEch_{s,r}$$

Où :

FE_i = facteur d'émissions ajusté quotidien pour une superficie récoltée donnée

FE_c = facteur d'émissions de base pour des champs inondés en permanence sans amendements organiques

$FEch_w$ = facteur d'échelonnage permettant de prendre en compte les différences entre les régimes hydriques pendant la période de culture (voir tableau 5.12)

$FEch_p$ = facteur d'échelonnage permettant de prendre en compte les différences entre les régimes hydriques avant la période de culture (voir tableau 5.13)

$FEch_o$ = facteur d'échelonnage qui devrait varier en fonction du type et de la quantité d'amendement organique appliqué (voir équation 5.3 et tableau 5.14)

$FEch_{s,r}$ = facteur d'échelonnage pour les types de sols, de cultivars de riz, etc., en fonction des disponibilités

Niveau 2

Le niveau 2 applique la même approche méthodologique que le niveau 1, mais avec des facteurs d'émissions spécifiques au pays et/ou des facteurs d'échelonnage. Ces facteurs spécifiques au pays sont nécessaires afin de refléter l'impact local des conditions (*i, j, k, etc.*) influençant les émissions de CH₄, et seront de préférence développés à l'aide de données de terrain. Pour l'approche de niveau 1, on encourage les pays à mettre en place la méthode au niveau le plus désagrégé possible et à incorporer toutes les conditions (*i, j, k, etc.*) influençant les émissions de CH₄.

Niveau 3

Le niveau 3 inclut des modèles et des réseaux de surveillance créés pour prendre en compte les circonstances nationales de la riziculture, plusieurs fois dans le temps, avec des données sur les activités de haute résolution et une désagrégation au niveau régional. Les modèles pourront être empiriques ou mécanistes, mais devront de toutes façons être validés par des observations indépendantes tirées d'études régionales ou nationales couvrant toutes les caractéristiques de la riziculture du pays (Cai *et al.*, 2003b ; Li *et al.*, 2004 ; Huang *et al.*, 2004). Il sera donc essentiel de bien documenter la validité et l'exhaustivité des données, hypothèses, équations et modèles utilisés. Les méthodologies de niveau 3 pourront aussi prendre en compte la variabilité interannuelle due aux dommages causés par les ouragans, au stress des sécheresses, etc. Dans l'idéal, l'évaluation sera basée sur des données satellites récentes.

5.5.2 Choix des facteurs d'émission et d'échelonnage

Niveau 1

On devra employer comme point de départ un facteur d'émissions de base pour les champs non inondés pendant moins de 180 jours avant la riziculture et inondés en permanence pendant la période de culture du riz, sans amendements organiques (FE_c). La valeur par défaut du GIEC pour FE_c est de 1,30 kg CH₄ ha⁻¹ jour⁻¹ (avec une plage d'erreur de 0,80 – 2,20, tableau 5.11), et a été estimée par analyse statistique de données de mesures de terrain disponibles (Yan *et al.*, 2005, les ensembles de données utilisées dans l'analyse se trouvent sur un site web⁵).

Les facteurs d'échelonnage sont utilisés pour ajuster le FE_c afin de prendre en compte les diverses conditions présentées dans l'encadré 5.2, et permettent d'obtenir des facteurs d'émissions ajustés quotidiens (FE_i) correspondant à une sous-unité particulière de superficie récoltée désagrégée selon l'équation 5.2. Les valeurs par défaut des facteurs d'échelonnage les plus importants, c'est-à-dire le régime hydrique avant et pendant la période de culture et les amendements organiques, sont présentés aux tableaux 5.12, 5.13 et 5.14, respectivement. Les facteurs d'échelonnage spécifiques au pays ne devront être utilisés que s'ils sont basés sur des données de mesures bien étudiées et bien documentées. On encourage les pays à prendre en compte les types de sols, de cultivars de riz et d'autres facteurs, s'ils sont disponibles.

⁵ <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/>

TABLEAU 5.11		
FACTEUR D'ÉMISSIONS DE CH₄ DE BASE PAR DÉFAUT, SUPPOSANT QU'IL N'Y A PAS D'INONDATION PENDANT MOINS DE 180 JOURS AVANT LA RIZICULTURE, ET UNE INONDATION PERMANENTE PENDANT LA RIZICULTURE, SANS AMENDEMENTS ORGANIQUES		
émissions de CH ₄ (kg CH ₄ ha ⁻¹ jour ⁻¹)	Facteur d'émission	Plage d'erreur
		1,30
Source : Yan <i>et al.</i> , 2005		

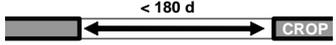
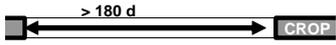
Régime hydrique pendant la période de culture (FEch_w) : Le tableau 5.12 fournit des facteurs d'échelonnage par défaut et des plages d'erreur reflétant différents régimes hydriques. La colonne « agrégation » indique une situation où les données sur les activités ne sont disponibles que pour les types d'écosystèmes de riz, mais pas les types d'inondations (voir encadré 5.2). Dans la colonne « désagrégation », les types d'inondations se divisent en trois sous-catégories (tableau 5.12). Conformément aux bonnes pratiques, on rassemblera des données sur les activités plus désagrégées et on appliquera dès que possible le FEch_w de la colonne « désagrégation ».

TABLEAU 5.12					
FACTEURS D'ECHELONNAGE DES ÉMISSIONS DE CH₄ PAR DÉFAUT POUR LES RÉGIMES HYDRIQUES PENDANT LA PÉRIODE DE CULTURE DE CHAMPS INONDÉS EN PERMANENCE					
Régime hydrique		Agrégation		Désagrégation	
		Facteur d'échelonnage (FEch _w)	Plage d'erreur	Facteur d'échelonnage (FEch _w)	Plage d'erreur
Riz de nappe ^a		0	-	0	-
Irrigué ^b	Inondé en permanence	0,78	0,62 – 0,98	1	0,79 – 1,26
	Inondé de manière intermittente – aération simple			0,60	0,46 – 0,80
	Inondé de manière intermittente – aération multiple			0,52	0,41 – 0,66
Riz pluvial et en eaux profondes ^c	Pluies régulières	0,27	0,21 – 0,34	0,28	0,21 – 0,37
	Susceptible à sécheresses			0,25	0,18 – 0,36
	Eaux profondes			0,31	ND
ND = non déterminé					
^a Les champs ne sont jamais inondés longtemps.					
^b Les champs sont inondés pendant des périodes importantes et le régime hydrique est entièrement contrôlé.					
• Inondé en permanence : Les champs ont de l'eau stagnante pendant toute la saison de croissance du riz et peuvent ne sécher que lors des récoltes (drainage de fin de saison).					
• Inondé de manière intermittente : Les champs ont au moins une période d'aération de plus de trois jours pendant la saison culturale.					
- Aération simple : Les champs connaissent une seule aération pendant la saison culturale à n'importe quelle étape de la croissance (excepté drainage de fin de saison).					
- Aération multiple : Les champs connaissent plus d'une période d'aération pendant la saison culturale (sauf drainage de fin de saison).					
^c Les champs sont inondés pendant des périodes importantes et le régime hydrique dépend entièrement des précipitations.					
• Pluies régulières : Le niveau d'eau peut monter jusqu'à 50 cm pendant la saison culturale.					
• Susceptible à sécheresses : Des périodes de sécheresse ont lieu à chaque saison culturale.					
• Eaux profondes : L'eau d'inondation monte à plus de 50 cm pendant une période significative de la saison culturale.					
Note : D'autres catégories d'écosystèmes, comme les marais, les terres intérieures, les eaux salines ou les terres humides soumises à marées peuvent être divisées par sous-catégories.					
Source : Yan <i>et al.</i> , 2005					

Régime hydrique avant la période de culture (FEch_p) : Le tableau 5.13 fournit des facteurs d'échelonnage par défaut pour les régimes hydriques avant la période de culture, utilisables lorsqu'on ne dispose pas de données spécifiques au pays. Il distingue trois régimes hydriques différents avant riziculture :

1. Non inondé pré-saison < 180 jours, correspondant souvent à une double riziculture ;
2. Non inondé pré-saison > 180 jours, par exemple riziculture simple après une période sèche de jachère ; et
3. Inondé pré-saison où l'intervalle d'inondation minimum est fixé à 30 jours, c'est-à-dire que les périodes d'inondation plus courtes (normalement destinées à préparer le sol pour le labour) ne seront pas incluses dans cette catégorie.

Lorsque les données sur les activités pour le statut hydrique pré-saison ne sont pas disponibles, il faudra utiliser les facteurs de la colonne « agrégation ». Conformément aux *bonnes pratiques*, on rassemblera des données sur les activités plus désagrégées et on appliquera le FEch_p de la colonne « désagrégation ». Les facteurs d'échelonnage d'autres régimes hydriques peuvent être appliqués si l'on dispose de données spécifiques au pays.

TABLEAU 5.13 FACTEURS D'ECHELONNAGE DES EMISSIONS DE CH ₄ PAR DEFAUT POUR LES REGIMES HYDRIQUES AVANT LA PERIODE DE CULTURE				
Régime hydrique avant riziculture (présentation schématique avec périodes inondées grisées)	Agrégation		Désagrégation	
	Facteur d'échelonnage (FEch _p)	Plage d'erreur	Facteur d'échelonnage (FEch _p)	Plage d'erreur
Non inondé pré-saison <180 jrs 	1,22	1,07 – 1,40	1	0,88 – 1,14
Non inondé pré-saison >180 jrs 			0,68	0,58 – 0,80
Inondé pré-saison >30 jrs ^{a,b} 			1,90	1,65 – 2,18
^a Les périodes d'inondation pré-saison de moins de 30 jours ne sont pas prises en compte lors de la sélection de FEch _p . ^b Voir ci-dessous le calcul des émissions pré-saison (section sur l'exhaustivité). Source : Yan <i>et al.</i> , 2005				

Amendements organiques (FEch_o) : Selon les *bonnes pratiques*, on développera des facteurs d'échelonnage qui incluront des informations sur le type et la quantité d'amendements organiques appliqués (compost, fumier de fermes, engrais vert et paille de riz). À base massique égale, les amendements contenant plus de carbone facilement décomposable émettent plus de CH₄, et les émissions augmentent également au fur et à mesure qu'on applique plus d'amendements organiques de tous types. L'équation 5.3 et le tableau 5.14 présentent une approche permettant de modifier le facteur d'échelonnage en fonction de la quantité de différents types d'amendements appliqués. La paille de riz est souvent incorporée au sol après récolte. Lorsqu'on a une longue jachère après l'incorporation de la paille de riz, les émissions de CH₄ de la saison de croissance du riz suivante seront moins élevées que lorsque la paille de riz est incorporée juste avant la transplantation du riz (Fitzgerald *et al.*, 2000). En conséquence, on a différencié entre les périodes d'incorporation de la paille de riz. Une plage incertaine de 0,54-0,64 peut être adoptée pour l'exposant 0,59 de l'équation 5.3.

ÉQUATION 5.3 FACTEURS D'ECHELONNAGE AJUSTES DES EMISSIONS DE CH ₄ POUR LES AMENDEMENTS ORGANIQUES
$FEch_o = \left(1 + \sum_i TxAO_i \cdot FCAO_i \right)^{0,59}$

Où :

FEch_o = facteur d'échelonnage pour les types et quantités d'amendements organiques appliqués

TxAO_i = taux d'application de l'amendement organique *i*, en poids sec pour la paille et en poids frais

pour les autres, tonne ha⁻¹

FCAO_i = facteur de conversion de l'amendement organique *i* (par rapport à son impact relatif sur la paille appliquée peu de temps après la culture), comme au tableau 5.14.

TABLEAU 5.14 FACTEUR DE CONVERSION PAR DEFAUT POUR DIFFERENTS TYPES D'AMENDEMENTS ORGANIQUES		
Amendement organique	Facteur de conversion (FCAO)	Plage d'erreur
Paille incorporée peu avant la culture (<30 jours) ^a	1	0,97 – 1,04
Paille incorporée longtemps avant la culture (>30 jours) ^a	0,29	0,20 – 0,40
Compost	0,05	0,01 – 0,08
Fumier de ferme	0,14	0,07 – 0,20
Engrais vert	0,50	0,30 – 0,60

^a Application de paille signifie que la paille est incorporée dans le sol, et exclut les cas où la paille est seulement placée sur la surface du sol, ainsi que les cas où la paille est brûlée dans le champ.

Source : Yan *et al.*, 2005

Type de sol (FEch_s) et de cultivar du riz (FEch_r) : Dans certains pays les données sur les émissions de différents types de sols et cultivars de riz existent, et peuvent être utilisées pour dériver les FEch_s et les FEch_r, respectivement. Si l'importance de ces facteurs a été confirmée par des expériences et les connaissances mécanistes, les grandes variations des données disponibles ne permettent pas de définir raisonnablement des valeurs par défaut exactes. Dans l'avenir proche, des modèles de simulation devraient pouvoir produire des facteurs d'échelonnement spécifiques pour FEch_s et FEch_r.

Niveau 2

Les agences chargées de l'inventaire pourront utiliser les facteurs d'émissions spécifiques au pays tirés de mesures sur le terrain et couvrant les conditions des rizicultures de leur pays. Conformément aux *bonnes pratiques*, on rassemblera des bases de données spécifiques au pays sur les mesures de terrain disponibles, permettant de compléter la Base de données des facteurs d'émissions⁶ en y ajoutant des programmes de mesures (par exemple nationaux) pas encore inclus dans celle-ci. Néanmoins, certaines exigences standard d'AQ/CQ s'appliquent à ces mesures de terrain (voir section 5.5.5).

Au niveau 2, les agences chargées des inventaires pourront définir la gestion de base en fonction des conditions prédominantes de leur pays, et déterminer des facteurs d'émissions spécifiques au pays pour cette gestion de base. Ensuite, les agences chargées des inventaires pourront également déterminer les facteurs d'échelonnement spécifiques au pays pour les pratiques de gestion ne faisant pas partie des pratiques de base. Si les pays ne disposent pas de facteurs d'échelonnement spécifiques, ils pourront employer des facteurs d'échelonnement par défaut. Toutefois, dans ce cas il faudra peut-être recalculer les facteurs d'échelonnement donnés aux tableaux 5.12 à 5.14 si la condition n'est pas celle de base.

Niveau 3

Les approches de niveau 3 ne nécessitent pas qu'on choisisse des facteurs d'émissions, mais se basent au contraire sur une compréhension fine des données et paramètres (voir ci-dessus).

5.5.3 Choix des données sur les activités

En plus des données sur les activités essentielles présentées ci-dessus, les *bonnes pratiques* exigent que l'on fasse correspondre les données sur les amendements organiques et les types de sols au même niveau de désagrégation que les données sur les activités. Pour ce faire, il pourra falloir mener l'enquête sur les pratiques culturelles afin d'obtenir des données sur le type et la quantité d'amendements organiques appliqués.

Les données sur les activités se basent tout d'abord sur des statistiques sur les superficies récoltées, lesquelles devraient être disponibles auprès d'agences nationales des statistiques, et qui doivent être complétées par des

⁶ <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/>

informations sur les périodes de culture et les pratiques agronomiques. Les données sur les activités devront être divisées par différences régionales quant aux pratiques de rizicultures ou régimes hydriques (voir encadré 5.2). Les superficies récoltées correspondant à différentes conditions pourront être obtenues sur une base nationale en employant des méthodes d'établissement de rapports acceptées. L'emploi de superficies vérifiées localement sera particulièrement utile si ces superficies sont corrélées à des données disponibles pour les facteurs d'émissions dans des conditions diverses comme le climat, les pratiques agronomes et les propriétés du sol. Si ces données ne sont pas disponibles dans le pays, on pourra les obtenir *via* des sources de données internationales : par exemple, IRRI (1995) et les statistiques mondiales sur le riz sur le site web de l'IRRI⁷ (*International Rice Research Institute*), qui incluent la superficie récoltée de riz par type d'écosystème pour les principaux pays producteurs de riz, un calendrier de la riziculture par pays et autres informations utiles ; et le FAOSTAT sur le site web de la FAO⁸. L'emploi de superficies vérifiées localement sera particulièrement utile si ces superficies sont corrélées à des données disponibles pour les facteurs d'émissions dans des conditions diverses comme le climat, les pratiques agronomiques et les propriétés du sol. Il pourra être nécessaire de consulter des experts locaux afin de connaître les pratiques agronomiques pertinentes aux émissions de méthane (amendements organiques, gestion de l'eau, etc.).

Dans la plupart des cas, les données sur les activités seront plus fiables que les facteurs d'émissions. Toutefois, pour diverses raisons les statistiques sur les superficies peuvent être biaisées et il est recommandé de vérifier les statistiques des superficies récoltées pour le pays (ou une partie du pays) à l'aide de données télédéteçtées.

En plus des données sur les activités essentielles présentées ci-dessus, les *bonnes pratiques* exigent, notamment aux niveaux 2 et 3, que l'on fasse correspondre les données sur les amendements organiques et d'autres conditions, comme les types de sols, au niveau de désagrégation des données sur les activités.

5.5.4 Évaluation des incertitudes

Pour l'évaluation des incertitudes, les principes généraux relatifs aux inventaires nationaux des émissions se trouvent au chapitre 3, volume 1. L'incertitude des facteurs d'échelonnage et d'émissions peut être influencée par la variabilité naturelle, comme la variabilité annuelle du climat, et la variabilité des unités supposées être homogènes, comme la variabilité spatiale d'une unité de champ ou de sol. Pour cette catégorie de source, suivre les *bonnes pratiques* devrait permettre de déterminer les incertitudes à l'aide de méthodes statistiques standard lorsqu'on dispose d'assez de données expérimentales. Les études permettant de quantifier certaines de ces incertitudes sont rares mais elles existent (par exemple pour la variabilité due au type de sol). On suppose que la variabilité présentée par ces études est généralement utilisable. Pour plus de précisions, voir Sass (2002).

Les données sur les activités importantes pour l'attribution des facteurs d'échelonnage (c'est-à-dire les données sur les pratiques culturales et les amendements organiques) peuvent ne pas exister dans les bases de données/statistiques disponibles. Les estimations de la proportion de cultivateurs de riz employant telle ou telle pratique ou tel ou tel amendement, ainsi que leurs plages d'incertitudes associées, devront se baser sur l'opinion d'experts. La valeur par défaut de l'incertitude de la proportion est estimée à $\pm 0,2$ (c'est-à-dire que la proportion de cultivateurs employant des amendements organiques est estimée à 0,4, et la plage d'incertitude est située entre 0,2 et 0,6). Le chapitre 3 du volume 1 fournit des conseils sur la quantification des incertitudes en pratique, y compris comment utiliser les opinions d'experts avec des données empiriques lors des estimations générales des incertitudes.

Pour les émissions de CH₄ dues à la riziculture, les plages d'incertitude des valeurs de niveau 1 (facteurs d'émissions et d'échelonnage) peuvent être directement tirées des tableaux 5.11 à 5.14. Les plages sont définies en tant que déviation type par rapport à la moyenne, et indiquent l'incertitude associée à une valeur par défaut donnée pour cette catégorie de source. L'exposant de l'équation 5.3 est fourni avec une plage d'incertitude de 0,54 à 0,64. L'évaluation des incertitudes des approches de niveau 2 et 3 dépendra de la base de données et des modèles utilisés. Il sera donc conforme aux *bonnes pratiques* d'appliquer les principes généraux d'analyses statistiques soulignés au chapitre 3 du volume 1, ainsi que les approches aux modèles soulignées à la section 3.5 du chapitre 3, volume 1.

⁷ <http://www.irri.org/science/ricestat/>

⁸ <http://faostat.fao.org/>

5.5.5 Exhaustivité, séries temporelles, AQ/CQ et établissement de rapports

EXHAUSTIVITE

Pour couvrir cette catégorie de source de manière exhaustive, il faudra estimer les émissions des activités suivantes, si elles existent :

- Si la submersion des sols ne se limite pas uniquement à la saison de croissance du riz, les émissions hors saison de croissance devront être incluses (par exemple pour une période de jachère inondée). Pour plus d'informations, voir Yagi *et al.*, 1998 ; Cai *et al.*, 2000 ; et Cai *et al.* 2003a ;
- D'autres catégories d'écosystèmes du riz, comme les marécages, les eaux salines intérieures ou les champs de riz soumis à marées, peuvent être différenciés dans chaque sous-catégorie en fonction des mesures d'émissions locales ;
- Si l'on récolte le riz plus d'une fois par an, toutes les récoltes devront être incluses dans les rapports de manière indépendante, en fonction de la définition locale (par exemple, riz précoce, riz tardif, riz de saison des pluies, riz de saison sèche) ; les récoltes de riz pourront être classées différemment selon différents facteurs d'émissions intégrés et différents facteurs de correction pour d'autres facteurs de modification comme les amendements organiques.

DEVELOPPEMENT D'UNE SERIE TEMPORELLE COHERENTE

Pour les autres sources et catégories, les méthodes d'estimation des émissions de CH₄ des rizières devront être appliquées de manière cohérente à chaque année de la série temporelle et au même niveau de désagrégation. Si l'on ne dispose pas de données sur les activités précises pour les années passées, les émissions de ces années devront être recalculées suivant les recommandations fournies au chapitre 5 du volume 1. Si le pays a connu des changements significatifs des pratiques agricoles influençant les émissions de CH₄ au cours de la série temporelle, la méthode d'estimation devra être mise en place à un niveau de désagrégation suffisant pour montrer les impacts de ces changements. Par exemple, différentes tendances relatives à la riziculture en Asie, comme l'adoption de nouvelles variétés de riz, l'utilisation croissante d'engrais inorganique, l'amélioration de la gestion de l'eau, les modifications de l'utilisation d'amendements organiques et l'ensemencement direct peuvent entraîner des diminutions ou des augmentations des émissions globales. Pour calculer le poids de l'impact de ces changements, il peut être nécessaire de se référer à des études de modèles.

ÉTABLISSEMENT DE RAPPORTS ET DOCUMENTATION

Selon les *bonnes pratiques*, on documentera et on archivera toutes les informations requises pour estimer les émissions nationales, conformément au chapitre 8 du volume 1. Les *bonnes pratiques* exigent que l'on documente les estimations des émissions en présentant les informations requises par la feuille de travail des *Lignes directrices* concernant le riz. Les agences chargées des inventaires n'utilisant pas les feuilles de travail devront fournir des informations comparables. Si les estimations d'émissions sont désagrégées par région, les informations concernant chaque région devront être fournies.

En plus, il faudra présenter les informations suivantes, si elles sont disponibles, à des fins de transparence :

- Pratiques de gestion de l'eau ;
- Types et quantités d'amendements organiques utilisés (l'incorporation de paille de riz ou de résidus d'anciennes cultures (autres que du riz) devra être considérée comme un amendement organique, même s'il peut s'agir d'une pratique de production normale et si l'objectif n'est pas de faire augmenter les taux de nutriments, comme pour l'ajout de fumier) ;
- Types de sols employés pour la riziculture ;
- Nombre de récoltes de riz annuelles ; et
- Principaux cultivars de riz.

Les agences chargées des inventaires employant des facteurs d'émissions spécifiques au pays devront fournir des informations sur les raisons de la sélection des facteurs et leur origine, et les comparer à d'autres facteurs d'émissions publiés, expliquer toute différence d'importance, et essayer d'attribuer des limites à l'incertitude.

ASSURANCE DE LA QUALITE (AQ) / CONTROLE DE LA QUALITE (CQ) DES INVENTAIRES

Il est conforme aux *bonnes pratiques* d'effectuer des contrôles de la qualité comme souligné dans le chapitre 6 du volume 1 ainsi qu'une révision experte des estimations d'émissions. Des vérifications supplémentaires du contrôle de la qualité, telles que les procédures de niveau 2 du chapitre 6 au volume 1, et des procédures d'assurance de la qualité peuvent aussi être applicables, en particulier si des méthodes de niveaux supérieurs sont utilisées pour déterminer les émissions de cette source.

Sass (2002) fait une évaluation précise des procédures d'AQ/CQ des inventaires pour les mesures sur le terrain. Certaines questions importantes sont soulignées et résumées ci-dessous.

Mesures d'émissions standard du méthane : Les procédures de CQ des inventaires utilisées au niveau des rizières seront largement déterminées par les experts locaux. Il existe toutefois des procédures internationales fixées permettant d'obtenir des « facteurs d'émissions types » qui devraient être communs à tous les programmes de surveillance. L'IAEA (1992) et l'IGAC (1994) fournissent des instructions permettant d'obtenir des facteurs d'émissions types. Les laboratoires de tous les pays faisant des inventaires devront obtenir ce facteur d'émissions type, car il permettra de comparer et de calibrer les grands ensembles de données utilisés afin d'établir les facteurs d'émissions spécifiques au pays.

Rassemblement des émissions nationales : Avant d'accepter les données sur les émissions, les agences chargées des inventaires devront faire l'évaluation de la qualité des données et des procédures d'échantillonnage. Pour effectuer ce type de vérifications, les laboratoires nationaux devront bien coopérer afin d'obtenir assez d'informations pour vérifier les émissions indiquées dans les rapports. L'évaluation devra inclure le recalcul des échantillons, une évaluation de la fiabilité des données agronomiques et climatiques, l'identification de biais potentiels dans la méthodologie, et des recommandations pour l'amélioration.

Il n'est actuellement pas possible de vérifier par recoupement les estimations d'émissions à cette catégorie de source par des mesures externes. Toutefois, l'agence chargée de l'inventaire devra veiller à ce que les estimations d'émissions subissent un contrôle de la qualité en mettant en place les mesures suivantes :

- Référencement par recoupement du rendement agricole agrégé et des statistiques des superficies de terrain inscrites dans les rapports avec des totaux nationaux ou autres sources de rendement agricole/données sur les superficies ;
- Calcul des facteurs d'émissions nationales précédentes à partir d'émissions agrégées et d'autres données ; et
- Référencement par recoupement des totaux nationaux inscrits dans les rapports avec des valeurs par défaut et des données d'autres pays.

Annexe 5A.1 Estimation de facteurs de variation des stocks par défaut pour les émissions/absorptions de C des sols minéraux de terres cultivées

Les facteurs de variation des stocks par défaut sont fournis au tableau 5.5 ; ils ont été calculés à l'aide d'ensembles de données mondiales rassemblant des résultats d'expériences sur le travail du sol, les entrées, les mises en réserve et les affectations des terres. Le facteur d'affectation des terres représente les pertes de carbone après 20 ans de cultures continues. Les facteurs de travail du sol et d'entrées représentent les impacts sur les stocks de C 20 ans après le changement de gestion. Les facteurs de mises en réserve représentent les impacts de l'extraction temporaire de terres cultivées de la production et leur placement sous couvert vivace pendant une durée de temps pouvant aller jusqu'à 20 ans.

Les données expérimentales (voir liste de références) ont été analysées avec des modèles linéaires à effets mixtes, en prenant en compte les effets fixes et aléatoires. Parmi les effets fixes, on compte la profondeur, le nombre d'années depuis le changement de gestion, et le type de changement de gestion (par exemple, d'un travail du sol réduit à une absence de travail du sol). Pour la profondeur, les données ne sont pas agrégées mais elles incluent les stocks de C mesurés pour toutes les augmentations de profondeur (par exemple, 0-5 cm, 5-10 cm, et 10-30 cm) en tant qu'élément séparé de l'ensemble de données. De même, les données de la série temporelle ne sont pas agrégées, même si les mesures ont été menées sur les mêmes parcelles. En conséquence, les effets aléatoires ont été utilisés pour tenir compte des dépendances des données de la série temporelle et parmi les éléments de données représentant différentes profondeurs dans la même étude. S'il est important, l'effet aléatoire d'un pays a été utilisé pour évaluer l'incertitude supplémentaire associée à l'application d'une valeur mondiale par défaut à un pays spécifique (compris dans les incertitudes par défaut). Les données ont été transformées à l'aide d'une transformation logarithmique naturelle si les hypothèses des modèles n'étaient pas vérifiées en termes de normalité et d'homogénéité de variance (les valeurs passées transformées sont données dans les tableaux). Les facteurs représentent l'impact des pratiques de gestion au bout de 20 ans pour les 30 cm supérieurs, à l'exception du facteur d'affectation des terres, qui représente les pertes moyennes de carbone au bout de 20 ans ou plus après une culture. Les utilisateurs des méthodes de niveau 1 pourront employer une valeur approximative des variations annuelles du stockage de carbone en divisant l'estimation de l'inventaire par 20. La variance a été calculée pour toutes les valeurs des facteurs, et peut être employée avec des méthodes de propagation d'erreur simples ou pour construire des fonctions de distribution de la probabilité à densité normale.

Références

- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

BIOMASSE

- Albrecht, A. and Kandji, S.T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **99**: 15-27.
- Hairiah, K. and Sitompul, S.M. (2000). Assessment and simulation of above-ground and below-ground carbon dynamics. Report to Asia Pacific Network (APN). Brawijaya University, Faculty of Agriculture, Malang, Indonesia.
- Lasco, R.D. and Suson, P.D. (1999). A *Leucaena Leucocephala* -based indigenous fallow system in central Philippines: the Naalad system. *Intl Tree Crops Journal* **10**: 161-174.
- Lasco, R.D., Lales, J.S., Arnuevo, M.T., Guillermo, I.Q., de Jesus, A.C., Medrano, R., Bajar, O.F. and Mendoza, C.V. (2002). Carbon dioxide (CO₂) storage and sequestration of land cover in the Leyte Geothermal Reservation. *Renewable Energy* **25**: 307-315.
- Lasco, R.D., Sales, R.F., Estrella, R., Saplaco, S.R., Castillo, A.S.A., Cruz, R.V.O. and Pulhin, F.B. (2001). Carbon stocks assessment of two agroforestry systems in the Makiling Forest Reserve, Philippines. *Philippine Agricultural Scientist* **84**: 401-407.
- Millennium Ecosystems Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: A Synthesis. Island Press, Washington DC. 137pp.
- Moore III, B. (2002). Chapter 2 Challenges of a changing earth. In, Challenges of a Changing Earth (W. Steffen, J. Jaeger, D.J. Carson, and C. Bradshaw, eds). Berlin: Springer-Verlag. Pp. 7-17.
- Palm, C.A., Woomeer, P.L., Alegre, J., Arevalo, L., Castilla, C., Cordeiro, D.G., Feigl, B., Hairiah, K., Kotto-Same, J., Mendes, A., Maukam, A., Murdiyarso, D., Njomgang, R., Parton, W.J., Ricse, A., Rodrigues, V., Sitompus, S.M. and van Noordwijk, M. (1999). Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the Humid Tropics. ACB Climate Change Working Group. Final Report Phase II, Nairobi, Kenya.
- Siregar, C.A. and Gintings, Ng. (2000). Research activities related to ground biomass measurement at Forestry Research Development Agency. Paper presented at the Workshop on LUCG and Greenhouse Gas Emissions Biophysical Data. Institut Pertanian Bogor. Indonesia, 16 December 2000.
- Tjitrosemito, S. and Mawardi, I. (2000). 'Terrestrial carbon stock in oil palm plantation', Paper presented at the Science Policy Workshop on Terrestrial Carbon Assessment for Possible Trading under CDM Projects, Bogor, Indonesia 28-29 February 2000.
- Tomich, T.P., van Noordwijk, M., Budidarsono, S., Gillison, A., Kusumanto, T., Murdiyarso, D., Stolle, T. and Fagi, A.M. (1998). Alternative to slash and burn in Indonesia. Summary Report and Synthesis of Phase II. ASB-Indonesia, Report No. 8, ICRAF, Bogor, Indonesia.
- Wasrin, U.R., Rohiani, A., Putera, A.E. and Hidayat, A. (2000). Assessment of above-ground C-stock using remote sensing and GIS technique. Final Report, Seameo Biotrop, Bogor, 28p.

SOLS

- Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* **74**: 755-774.
- Augustin, J., Merbach, W., Schmidt, W. and Reining, E. (1996). Effect of changing temperature and water table on trace gas emission from minerotrophic mires. *Journal of Applied Botany-Angewandte Botanik* **70**, 45-51.

- Bruce, J.P., Frome, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R. and Paustian, K. (1999). Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation* **54**:382-389.
- Davidson, E.A. and Ackerman, I.L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry*, **20**:161-164.
- Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. *Soil Use and Management*, **19**, 265-269.
- Freibauer, A. (2003). Biogenic Emissions of Greenhouse Gases from European Agriculture. *European Journal of Agronomy* **19**(2): 135-160.
- Freibauer, A. and Kaltschmitt, M. (eds). (2001). Biogenic greenhouse gas emissions from agriculture in Europe. European Summary Report of the EU concerted action FAIR3-CT96-1877, Biogenic emissions of greenhouse gases caused by arable and animal agriculture, 220 p.
- Glenn, S.M., Hayes, A. and Moore, T.R. (1993). Methane and carbon dioxide fluxes from drained peatland soils, southern Quebec. *Global Biogeochemical Cycles* **7**:247-257
- Kasimir-Klemedtsson, A., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. and Oenema, O. (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* **13**:245-250.
- Leifeld, J., Bassin, S. and Fuhrer, J. (2005). Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture Ecosystems & Environment* **105**, 255-266.
- Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J.P. and Laurila, T. (2004). Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. *Journal of Geophysical Research* **109**, D18116
- Maljanen, M., Martikainen, P.J., Walden, J. and Silvola, J. (2001). CO₂ exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. *Global Change Biology* **7**, 679-692.
- Maljanen, M., Komulainen, V.M., Hytonen, J., Martikainen, P. and Laine, J. (2004). Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. *Soil Biology and Biochemistry* **36**, 1801-1808.
- Mann, L.K. (1986). Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* **142**:279-288.
- McGill, W. B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter models. In: Powlson D.S., Smith P., and Smith J.U. (eds.). *Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets*. Springer-Verlag, Heidelberg: pp. 111-132.
- Monte, L, Hakanson, L., Bergstrom, U., Brittain, J. and Heling, R. (1996). Uncertainty analysis and validation of environmental models: the empirically based uncertainty analysis. *Ecological Modelling* **91**:139-152.
- Nusser, S.M. and Goebel, J.J. (1997). The National Resources Inventory: a long-term multi-resource monitoring programme. *Environmental and Ecological Statistics* **4**:181-204.
- Nykänen, H., Alm, J., Lang, K., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1995). Emissions of CH₄, N₂O and CO₂ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* **22**, 351-357.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land-use and management impacts on soil organic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. *Global Change Biology* **9**:1521-1542.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* **72**:87-121.
- Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2006). Bias and variance in model results associated with spatial scaling of measurements for parameterization in regional assessments. *Global Change Biology* **12**:516-523.
- Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., van, Noordwijk, M. and Woerner, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* **13**:230-244.
- Pierce, F. J., Fortin, M.-C. and Staton, M.J. (1994). Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Science Society of America Journal* **58**:1782-1787.
- Powers, J. S., Read, J. M., Denslow, J. S. and Guzman, S. M. (2004). Estimating soil carbon fluxes following land-cover change: a test of some critical assumptions for a region in Costa Rica. *Global Change Biology*

10:170-181.

- Smith, J.E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. *Environmental Management* **27**:253-267.
- Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U. and Elliott, E.T. (eds) (1997). Evaluation and comparison of soil organic matter models. Special Issue, *Geoderma* **81**:1-225.
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J. and Smith, J.U. (1998) Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biology* **4**: 679-685.
- VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., *et al.* (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. *Global Change Biology* **10**:983-994.

ESTIMATION DE FACTEURS DE VARIATION DES STOCKS PAR DEFAUT POUR LES EMISSIONS/ABSORPTIONS DE C DES SOLS MINERAUX DE TERRES CULTIVEES ANNEXE 5A.1

- Agbenin, J.O. and Goladi, J.T. (1997). Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **63**:17-24.
- Ahl, C., Joergensen, R.G., Kandeler, E., Meyer, B. and Woehler, V. (1998). Microbial biomass and activity in silt and sand loams after long-term shallow tillage in central Germany. *Soil and Tillage Research* **49**:93-104.
- Alvarez, R., Russo, M.E., Prystupa, P., Scheiner, J.D. and Blotta, L. (1998). Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agronomy Journal* **90**:138-143.
- Angers, D.A., Bolinder, M.A., Carter, M.R., Gregorich, E.G., Drury, C.F., Liang, B.C., Voroney, R.P., Simard, R.R., Donald, R.G., Beyaert, R.P. and Martel, J. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research* **41**:191-201.
- Angers, D.A., Voroney, R.P. and Cote, D. (1995). Dynamics of soil organic matter and corn residues affected by tillage practices. *Soil Science Society of America Journal* **59**:1311-1315.
- Anken, T., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J. and Perhacova, K. (2004). Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. *Soil and Tillage Research* **78**:171-183.
- Baer, S.G., Rice, C.W. and Blair, J.M. (2000). Assessment of soil quality in fields with short and long term enrollment in the CRP. *Journal of Soil and Water Conservation* **55**:142-146.
- Balesdent, J., Mariotti, A. and Boisgontier, D. (1990). Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ¹³C abundance in maize fields. *Journal of Soil Science* **41**:587-596.
- Barber, R.G., Orellana, M., Navarro, F., Diaz, O. and Soruco, M.A. (1996). Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. *Soil and Tillage Research* **38**:133-152.
- Bauer, A. and Black, A.L. (1981). Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. *Soil Science Society of America Journal* **45**:166-1170.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Martin-Neto, L. and Ernani, P.R. (2002). Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant and Soil* **238**:133-140.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T.J.C., Martin-Neto, L. and Fernández, S.V. (2000). Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* **54**:101-109.
- Beare, M.H., Hendrix, P.F. and Coleman, D.C. (1994). Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* **58**: 777-786.
- Beyer, L. (1994). Effect of cultivation on physico-chemical, humus-chemical and biotic properties and fertility of two forest soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **48**:179-188.
- Black, A.L. and Tanaka, D.L. (1997). A conservation tillage-cropping systems study in the Northern Great Plains of the United States. Pages 335-342 in Paul, E.A., K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole, editors. *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Blanco-Canqui, H., Gantzer, C.J., Anderson, S.H. and Alberts, E.E. (2004). Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Science Society of America Journal* **68**:567-576.

- Bordovsky, D.G., Choudhary, M. and Gerard, C.J. (1999). Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas rolling plains. *Soil Science* **164**:331-340.
- Borin, M., Menini, C. and Sartori, L. (1997). Effects of tillage systems on energy and carbon balance in north-eastern Italy. *Soil and Tillage Research* **40**:209-226.
- Borresen, T. and Njos, A. (1993). Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in southeastern Norway. 1. Soil properties. *Soil and Tillage Research* **28**:97-108.
- Bowman, R.A. and Anderson, R.L. (2002). Conservation Reserve Program: Effects on soil organic carbon and preservation when converting back to cropland in northeastern Colorado. *Journal of Soil and Water Conservation* **57**:121-126.
- Bremer, E., Janzen, H.H. and Johnston, A.M. (1994). Sensitivity of total, light fraction and mineralizable organic matter to management practices in a Lethbridge soil. *Canadian Journal of Soil Science* **74**:131-138.
- Burke, I.C., Lauenroth, W.K. and Coffin, D.P. (1995). Soil organic matter recovery in semiarid grasslands: implications for the Conservation Reserve Program. *Ecological Applications* **5**:793-801.
- Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L. and Unger, P.W. (1998). Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research* **49**:105-116.
- Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1998). Carbon cycling in cultivated land and its global significance. *Global Change Biology* **4**:131-141
- Buyanovsky, G.A., Kucera, C.L. and Wagner, G.H. (1987). Comparative analysis of carbon dynamics in native and cultivated ecosystems. *Ecology* **68**:2023-2031.
- Cambardella, C.A. and Elliott, E.T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* **56**:777-783.
- Campbell, C.A. and Zentner, R.P. (1997). Crop production and soil organic matter in long-term crop rotations in the semi-arid northern Great Plains of Canada. Pages 317-334 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F. and Curtin, D. (1996). Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* **76**:395-401.
- Campbell, C.A., Lafond, G.P., Moulin, A.P., Townley-Smith, L. and Zentner, R.P. (1997). Crop production and soil organic matter in long-term crop rotations in the sub-humid northern Great Plains of Canada. Pages 297-315 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Campbell, C.A., Bowren, K.E., Schnitzer, M., Zentner, R.P. and Townley-Smith, L. (1991). Effect of crop rotations and fertilization on soil organic matter and some biochemical properties of a thick black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* **71**: 377-387.
- Campbell, C.A., Zentner, R.P., Selles, F., Biederbeck, V.O., McConkey, B.G., Blomert, B. and Jefferson, P.G. (2000). Quantifying short-term effects of crop rotations on soil organic carbon in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* **80**:193-202.
- Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., McConkey, B.G., Curtin, D. and Zentner, R.P. (1999). Soil quality - effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced by tillage and fallow frequency in a silt loam in southwestern Saskatchewan. *Soil Biology and Biochemistry* **31**:1-7.
- Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Wen, G., Zentner, R.P., Schoenau, J. and Hahn, D. (1999). Seasonal trends in selected soil biochemical attributes: Effects of crop rotation in the semiarid prairie. *Canadian Journal of Soil Science* **79**:73-84.
- Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P. and Lafond, G.P. (1991). Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* **71**: 363-376.
- Carter, M.R., Johnston, H.W. and Kimpinski, J. (1988). Direct drilling and soil loosening for spring cereals on a fine sandy loam in Atlantic Canada. *Soil and Tillage Research* **12**:365-384.
- Carter, M.R., Sanderson, J.B., Ivany, J.A. and White, R.P. (2002). Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of

- Atlantic Canada, *Soil & Tillage Research*, **67**:85-98.
- Carter, M.R. (1991). Evaluation of shallow tillage for spring cereals on a fine sandy loam. 2. Soil physical, chemical and biological properties. *Soil and Tillage Research* **21**:37-52.
- Chan, K.Y., Roberts, W.P. and Heenan, D.P. (1992). Organic carbon and associated soil properties of a red Earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. *Australian Journal of Soil Research* **30**: 71-83.
- Chan, K.Y. and Mead, J.A. (1988). Surface physical properties of a sandy loam soil under different tillage practices. *Australian Journal of Soil Research* **26**:549-559.
- Chaney, B.K., Hodson, D.R. and Braim, M.A. (1985). The effects of direct drilling, shallow cultivation and ploughing on some soil physical properties in a long-term experiment on spring barley. *J. Agric. Sci., Camb.* **104**:125-133.
- Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Layese, M.F., Linden, D.R. and Dowdy, R.H. (2000). Soil organic carbon and ¹³C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilization under continuous corn management in Minnesota. *Soil and Tillage Research* **55**:127-142.
- Collins, H.P., Blevins, R.L., Bundy, L.G., Christenson, D.R., Dick, W.A., Huggins, D.R. and Paul, E.A. (1999). Soil carbon dynamics in corn-based agroecosystems: results from carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal* **63**:584-591.
- Corazza, E.J. *et al.* (1999). Behavior of different management systems as a source or sink of C-CO₂ in relation to cerrado type vegetation. *R.Bras Ci.Solo* **23**:425-432.
- Costantini, A., Cosentino, D. and Segat, A. (1996). Influence of tillage systems on biological properties of a Typic Argiudoll soil under continuous maize in central Argentina. *Soil and Tillage Research* **38**:265-271.
- Dalal, R.C. (1989). Long-term effects of no-tillage, crop residue, and nitrogen application on properties of a Vertisol. *Soil Science Society of America Journal* **53**:1511-1515.
- Dalal, R.C. and Mayer, R.J. (1986). Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. *Australian Journal of Soil Research* **24**:265-279.
- Dalal R.C., Henderson P.A. and Glasby J.M. (1991). Organic matter and microbial biomass in a vertisol after 20 yr of zero tillage. *Soil Biology and Biochemistry* **23**:435-441.
- Dick, W.A. and Durkalski, J.T. (1997). No-tillage production agriculture and carbon sequestration in a Typic Fragiudalf soil of Northeastern Ohio. Pages 59-71 in Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press Inc. Boca Raton, FL.
- Dick, W.A., Edwards, W.M. and McCoy, E.L. (1997). Continuous application of no-tillage to Ohio soils: Changes in crop yields and organic matter-related soil properties. Pages 171-182 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Doran, J.W., Elliott, E.T. and Paustian, K. (1998). Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil and Tillage Research* **49**:3-18.
- Duiker, S.W. and Lal, R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a luvisol in central Ohio. *Soil and Tillage Research* **52**:73-81.
- Edwards, J.H., Wood, C.W., Thurlow, D.L. and Ruf, M.E. (1992). Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Science Society of America Journal* **56**:1577-1582.
- Eghball, B., Mielke, L.N., McCallister, D.L. and Doran, J.W. (1994). Distribution of organic carbon and inorganic nitrogen in a soil under various tillage and crop sequences. *Journal of Soil and Water Conservation* **49**: 201-205.
- Fabrizzi, K.P., Moron, A. and Garcia, F.O. (2003). Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. *Soil Science Society of America Journal* **67**:1831-1841.
- Fitzsimmons, M.J., Pennock, D.J. and Thorpe, J. (2004). Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. *Forest Ecology and Management* **188**: 349-361.
- Fleige, H. and Baeumer, K. (1974). Effect of zero-tillage on organic carbon and total nitrogen content, and their distribution in different N-fractions in loessial soils. *Agro-Ecosystems* **1**:19-29.

- Follett, R.F. and Peterson, G.A. (1988). Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. *Soil Science Society of America Journal* **52**:141-147.
- Follett, R.F., Paul, E.A., Leavitt, S.W., Halvorson, A.D., Lyon, D. and Peterson, G.A. (1997). Carbon isotope ratios of Great Plains soils and in wheat-fallow systems. *Soil Science Society of America Journal* **61**:1068-1077.
- Follett, R.F., Pruessner, E.G., Samson-Liebig, S.E., Kimble, J.M. and Waltman, S.W. (2001). Carbon sequestration under the Conservation Reserve Program in the historic grassland soils of the United States of America. Pages 1-14 in Lal, R., and K. McSweeney, editors. Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration. SSSA Special Publication. Madison, WI.
- Franzluebbers, A.J. and Arshad, M.A. (1996). Water-stable aggregation and organic matter in four soils under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science* **76**:387-393.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995). Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. *Soil Science Society of America* **59**:460-466.
- Franzluebbers, A.J., Langdale, G.W. and Schomberg, H.H. (1999). Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Science Society of America Journal* **63**:349-355.
- Freitas, P.L., Blancaneaux, P., Gavinelly, E., Larre-Larrouy, M.-C. and Feller, C. (2000). Nivel e natureza do estoque organico de latossols sob diferentes sistemas de uso e manejo, Pesq.agropec.bras. *Brasilia* **35**: 157-170.
- Freixo, A.A., Machado, P., dos Santos, H.P., Silva, C.A. and Fadigas, F. (2002). Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* **64**:221-230.
- Frye, W.W. and Blevins, R.L. (1997). Soil organic matter under long-term no-tillage and conventional tillage corn production in Kentucky. Pages 227-234 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Garcia-Prechac, F., Ernst, O., Siri-Prieto, G. and Terra, J.A. (2004). Intergrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research* **77**:1-13.
- Gebhart, D.L., Johnson, H.B., Mayeux, H.S. and Polley, H.W. (1994). The CRP increases soil organic carbon. *Journal of Soil and Water Conservation* **49**:488-492.
- Ghuman, B.S. and Sur, H.S. (2001). Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. *Soil and Tillage Research* **58**:1-10.
- Girma, T. (1998). Effect of cultivation on physical and chemical properties of a Vertisol in Middle Awash Valley, Ethiopia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **29**:587-598.
- Graham, M.H., Haynes, R.J. and Meyer, J.H. (2002). Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *Soil Biology and Biochemistry* **34**:93-102.
- Grandy, A.S., Porter, G.A. and Erich, M.S. (2002). Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. *Soil Science Society of America Journal* **66**:1311-1319.
- Gregorich, E.G., Ellert, B.H., Drury, C.F. and Liang, B.C. (1996). Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. *Soil Science Society of America Journal* **60**:472-476.
- Grunzweig, J.M., Sparrow, S.D., Yakir, D. and Chapin III, F.S. (2004). Impact of agricultural land-use change on carbon storage in boreal Alaska. *Global Change Biology* **10**:452-472.
- Hadas, A., Agassi, M., Zhevelev, H., Kautsky, L., Levy, G.J., Fizik, E. and Gotessman, M. (2004). Mulching with composted municipal solid wastes in the Central Negev, Israel II. Effect on available nitrogen and phosphorus and on organic matter in soil. *Soil and Tillage Research* **78**:115-128.
- Halvorson, A.D., Wienhold, B.J. and Black, A.L. (2002). Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration. *Soil Science Society of America Journal* **66**:906-912.
- Halvorson, A.D., Reule, C.A. and Follett, R.F. (1999). Nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a dryland cropping system. *Soil Science Society of America Journal* **63**:912-917.
- Halvorson, A.D., Vigil, M.F., Peterson, G.A. and Elliott, E.T. (1997). Long-term tillage and crop residue management study at Akron, Colorado. Pages 361-370 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V.

- Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hansmeyer, T.L., Linden, D.R., Allan, D.L. and Huggins, D.R. (1998). Determining carbon dynamics under no-till, ridge-till, chisel, and moldboard tillage systems within a corn and soybean cropping sequence. Pages 93-97 in Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Hao, X., Chang, C. and Lindwall, C.W. (2001). Tillage and crop sequence effects on organic carbon and total nitrogen content in an irrigated Alberta soil. *Soil and Tillage Research* **62**:167-169.
- Harden, J.W., Sharpe, J.M., Parton, W.J., Ojima, D.S., Fries, T.L., Huntington, T.G. and Dabney, S.M. (1999). Dynamic replacement and loss of soil carbon on eroding cropland. *Global Biogeochemical Cycles* **14**:885-901.
- Havlin, J.L. and Kissel, D.E. (1997). Management effects on soil organic carbon and nitrogen in the East-Central Great Plains of Kansas. Pages 381-386 in Paul, E.A., K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole, editors. *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Hendrix, P.F. (1997). Long-term patterns of plant production and soil carbon dynamics in a Georgia piedmont agroecosystem. Pages 235-245 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hernanz, J.L., Lopez, R., Navarrete, L. and Sanchez-Giron, V. (2002). Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil and Tillage Research* **66**:129-141.
- Hulugalle, N.R. (2000). Carbon sequestration in irrigated vertisols under cotton-based farming systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **31**:645-654.
- Hussain, I., Olson, K.R., Wander, M.M. and Karlen, D.L. (1999). Adaption of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. *Soil and Tillage Research* **50**:237-249.
- Ihori, T., Burke, I.C., Lauenroth, W.K. and Coffin, D.P. (1995). Effects of cultivation and abandonment on soil organic matter in Northeastern Colorado. *Soil Science Society of America Journal* **59**:1112-1119.
- Jackson, L.E., Ramirez, I., Yokota, R., Fennimore, S.A., Koike, S.T., Henderson, D.M., Chaney, W.E., Calderon, F.J. and Klonsky, K. (2004). *Agriculture, Ecosystems and Environment* **103**:443-463.
- Janzen, H.H. (1987). Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Canadian Journal of Soil Science* **67**:845-856.
- Jastrow, J.D., Miller, R.M. and Lussenhop, J. (1998). Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology and Biochemistry* **30**:905-916.
- Karlen, D.L., Kumar, A., Kanwar, R.S., Cambardella, C.A. and Colvin, T.S. (1998). Tillage system effects on 15-year carbon-based and simulated N budgets in a tile-drained Iowa field. *Soil and Tillage Research* **48**:155-165.
- Karlen, D.L., Rosek, M.J., Gardner, J.C., Allan, D.L., Alms, M.J., Bezdicek, D.F., Flock, M., Huggins, D.R., Miller, B.S. and Staben, M.L. (1999). Conservation Reserve Program effects on soil quality indicators. *Journal of Soil and Water Conservation* **54**:439-444.
- Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S. and Jordahl, J.L. (1994). Long-term tillage effects on soil quality. *Soil and Tillage Research* **32**:313-327.
- Knowles, T.A. and Singh, B. (2003). Carbon storage in cotton soils of northern New South Wales. *Australian Journal of Soil Research* **41**:889-903.
- Kushwaha, C.P., Tripathi, S.K. and Singh, K.P. (2000). Variations in soil microbial biomass and N availability due to residue and tillage management in a dryland rice agroecosystem. *Soil and Tillage Research* **56**:153-166.
- Lal, R. (1998). Soil quality changes under continuous cropping for seventeen seasons of an alfisol in western Nigeria. *Land Degradation and Development* **9**:259-274.
- Lal, R., Mahboubi, A.A. and Fausey, N.R. (1994). Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Science Society of America Journal* **58**:517-522.
- Larney, F.J., Bremer, E., Janzen, H.H., Johnston, A.M. and Lindwall, C.W. (1997). Changes in total, mineralizable and light fraction soil organic matter with cropping and tillage intensities in semiarid

- southern Alberta, Canada. *Soil and Tillage Research* **42**:229-240.
- Lilienfein, J., Wilcke, W., Vilela, L., do Carmo Lima, S., Thomas, R. and Zech, W. (2000). Effect of no-tillage and conventional tillage systems on the chemical composition of soil solid phase and soil solution of Brazilian savanna. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **163**: 411-419.
- Ludwig, B., John, B., Ellerbrock, R., Kaiser, M. and Flessa, H. (2003). Stabilization of carbon from maize in a sandy soil in a long-term experiment. *European Journal of Soil Science* **54**:117-126.
- McCarty, G.W., Lyssenko, N.N. and Starr, J.L. (1998). Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal* **62**:1564-1571.
- Mielke, L.N., Doran, J.W. and Richards, K.A. (1986). Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil and Tillage Research* **7**:355-366.
- Mikhailova, E.A., Bryant, R.B., Vassenev, I.I., Schwager, S.J. and Post, C.J. (2000). Cultivation effects on soil carbon and nitrogen contents at depth in the Russian Chernozem. *Soil Science Society of America Journal* **64**:738-745.
- Mrabet, R., Saber, N., El-brahli, A., Lahlou, S. and Bessam, F. (2001). Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil & Tillage Research* **57**: 225-235.
- Nyborg, M., Solberg, E.D., Malhi, S.S. and Izaurrealde, R.C. (1995). Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade. Pages 93-99 in Lal, R., J. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Soil Management and Greenhouse effect*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Parfitt, R.L., Theng, B.K.G., Whitton, J.S. and Shepherd, T.G. (1997). Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma* **75**:1-12.
- Patwardhan, A.S., Chinnaswamy, R.V., Donigian Jr., A.S., Metherell, A.K., Blevins, R.L., Frye, W.W., and Paustian, K. (1995). Application of the Century soil organic matter model to a field site in Lexington, KY. Pages 385-394 in Lal, R., J. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Soils and Global Change*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Paustian, K. and Elliott, E.T. Unpublished data. Field sampling of long-term experiments in U.S. and Canada for EPA carbon sequestration project.
- Pennock, D.J. and van Kessel, C. (1997). Effect of agriculture and of clear-cut forest harvest on landscape-scale soil organic carbon storage in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* **77**:211-218.
- Pierce, F.J. and Fortin, M.-C. (1997). Long-term tillage and periodic plowing of a no-tilled soil in Michigan: Impacts, yield, and soil organic matter. Pages 141-149 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. *Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Potter, K.N., Torbert, H.A., Johnson, H.B. and Tischler, C.R. (1999). Carbon storage after long-term grass establishment on degraded soils. *Soil Science* **164**:718-723.
- Potter, K.N., Torbert, H.A., Jones, O.R., Matocha, J.E., Morrison Jr., J.E., and Unger, P.W. (1998). Distribution and amount of soil organic C in long-term management systems in Texas. *Soil and Tillage Research* **47**:309-321.
- Potter, K.N., Jones, O.R., Torbert, H.A. and Unger, P.W. (1997). Crop rotation and tillage effects on organic carbon sequestration in the semiarid southern Great Plains. *Soil Science* **162**:140-147.
- Powlson, D.S. and Jenkinson, D.S. (1982). A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils, *J. Agric. Sci. Camb.* **97**:713-721.
- Rasmussen, P.E. and Albrecht, S.L. (1998). Crop management effects on organic carbon in semi-arid Pacific Northwest soils. Pages 209-219 in Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. *Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Reeder, J.D., Schuman, G.E. and Bowman, R.A. (1998). Soil C and N changes on Conservation Reserve Program lands in the Central Great Plains. *Soil and Tillage Research* **47**:339-349.
- Rhoton, F.E., Bruce, R.R., Buehring, N.W., Elkins, G.B., Langdale, C.W. and Tyler, D.D. (1993). Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil and Tillage Research* **28**: 51-61.
- Robles, M.D. and Burke, I.C. (1997). Legume, grass, and conservation reserve program effects on soil organic matter recovery. *Ecological Applications* **7**:345-357.

- Ross, C.W. and Hughes, K.A. (1985). Maize/oats forage rotation under 3 cultivation systems, 1978-83 2. Soil properties. *New Zealand Journal of Agricultural Research* **28**:209-219.
- Sa, J.C.M., Cerri, C.C., Dick, W.A., Lal, R., Filho, S.P.V., Piccolo, M.C. and Feigl, B.E. (2001). Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal* **65**:1486-1499.
- Saffigna, P.G., Powlson, D.S., Brookes, P.C. and Thomas, G.A. (1989). Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. *Soil Biology and Biochemistry* **21**: 759-765.
- Saggar, S., Yeates, G.W. and Shepherd, T.G. (2001). Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. *Soil and Tillage Research* **58**:55-68.
- Sainju, U.M., Singh, B.P. and Whitehead, W.F. (2002). Long-term effects of tillage, cover crops, and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. *Soil and Tillage Research* **63**:167-179.
- Salinas-Garcia, J.R., Hons, F.M. and Matocha, J.E. (1997). Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. *Soil Science Society of America Journal* **61**:152-159.
- Schiffman, P.M., and Johnson, W.C. (1989). Phytomass and detrital carbon storage during forest regrowth in the southeastern United States Piedmont. *Canadian Journal of Forest Research* **19**:69-78.
- Sherrod, L.A., Peterson, G.A., Westfall, D.G. and Ahuja, L.R. (2006). Cropping intensification enhances soil organic carbon and nitrogen in a no-till agroecosystem. *Soil Science Society of America Journal*. (in press).
- Sidhu, A.S. and Sur, H.S. (1993). Effect of incorporation of legume straw on soil properties and crop yield in a maize-wheat sequence. *Tropical Agriculture (Trinidad)* **70**:226-229.
- Six, J., Elliot, E.T., Paustian, K. and Doran, J.W. (1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* **62**:1367-1377.
- Six, J., Paustian, K., Elliott, E.T. and Combrink, C. (2000). Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal* **64**:681-689
- Slobodian, N., van Rees, K., and Pennock, D. (2002). Cultivation-induced effects on below-ground biomass and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal* **66**:924-930.
- Solomon, D., Fritzsche, F., Lehmann, J., Tekalign, M. and Zech, W. (2002). Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian Highlands: evidence from natural ¹³C abundance and particle-size fractionation. *Soil Science Society of America Journal* **66**: 969-978.
- Sparling, G.P., Schipper, L.A., Hewitt, A.E. and Degens, B.P. (2000). Resistance to cropping pressure of two New Zealand soils with contrasting mineralogy. *Australian Journal of Soil Research* **38**:85-100.
- Stenberg, M., Stenberg, B. and Rydberg, T. (2000). Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. *Applied Soil Ecology* **14**:135-145.
- Tabeada, M.A., Micucci, F.G., Cosentino, D.J. and Lavado, R.S. (1998). Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. *Soil and Tillage Research* **49**:57-63.
- Tiessen, H., Stewart, J.W.B. and Bettany, J.R. (1982). Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. *Agronomy Journal* **74**:831-835.
- Unger, P.W. (2001). Total carbon, aggregation, bulk density, and penetration resistance of cropland and nearby grassland soils. Pages 77-92 in: R. Lal (ed.). Soil carbon sequestration and the greenhouse effect. SSSA Special Publication No. 57, Madison, WI.
- Vanotti, M.B., Bundy, L.G. and Peterson, A.E. (1997). Nitrogen fertilizer and legume-cereal rotation effects on soil productivity and organic matter dynamics in Wisconsin. Pages 105-119 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Varvel, G.E. (1994). Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. *Agronomy Journal* **86**:319-325.
- Voroney, R.P., van Veen, J.A. and Paul, E.A. (1981). Organic C dynamics in grassland soils. 2. Model validation

- and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. *Canadian Journal of Soil Science* **61**:211-224.
- Wander, M.M., Bidart, M.G. and Aref, S. (1998). Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal* **62**:1704-1711.
- Wanniarachchi, S.D., Voroney, R.P., Vyn, T.J., Beyaert, R.P. and MacKenzie, A.F. (1999). Tillage effects on the dynamics of total and corn-residue-derived soil organic matter in two southern Ontario soils. *Canadian Journal of Soil Science* **79**: 473-480.
- Westerhof, R., Vilela, L., Azarza, M. and Zech, W. (1998). Land-use effects on labile N extracted with permanganate and the nitrogen management index in the Cerrado region of Brazil. *Biology and Fertility of Soils* **27**:353-357.
- Wu, T., Schoenau, J.J., Li, F., Qian, P., Malhi, S.S., Shi, Y. and Xu, F. (2004). Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research* **77**:59-68.
- Yang, X.M. and Kay, B.D. (2001). Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. *Canadian Journal of Soil Science* **81**: 149-156.
- Yang, X.M. and Wander, M.M. (1999). Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. *Soil and Tillage Research* **52**:1-9.
- Zelege, T.B., Grevers, M.C.J., Si, B.C., Mermut, A.R. and Beyene, S. (2004). Effect of residue incorporation on physical properties of the surface soil in the South Central Rift Valley of Ethiopia. *Soil and Tillage Research* **77**:35-46.
- Zhang, H., Thompson, M.L. and Sandor, J.A. (1988). Compositional differences in organic matter among cultivated and uncultivated Argiudolls and Hapludalfs derived from loess. *Soil Science Society of America Journal* **52**:216-222.

RIZICULTURE

- Cai, Z.C., Tsuruta, H. and Minami, K. (2000). Methane emission from rice fields in China: measurements and influencing factors. *Journal of Geophysical Research* **105**(D13): 17231–17242.
- Cai, Z.C., Tsuruta, H., Gao, M., Xu, H. and Wei, C.F. (2003a). Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. *Global Change Biology* **9**: 37-45.
- Cai, Z.C., Sawamoto, T., Li, C.S., Kang, G.D., Boonjawat, J., Mosier, A. and Wassmann, R. (2003b). Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems, *Global Biogeochemical Cycles* **17**(4): 1107 doi:10.1029/2003GB002046,2003.
- Cicerone, R.J. and Shetter, J.D. (1981). Sources of atmospheric methane: Measurements in rice paddies and a discussion. *Journal of Geophysical Research* **86**: 7203-7209.
- Conrad, R. (1989). "Control of methane production in terrestrial ecosystems". In: Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere, M.O. Andreae and D.S. Schimel(eds.), 39-58.
- Denier van der Gon, H.A.C. and Neue, H.U. (1995). Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field. *Global Biogeochemical Cycles* **9**: 11-22.
- Denier van der Gon, H.A.C. and Neue, H.U. (2002). Impact of gypsum application on the methane emission from a wetland rice field. *Global Biogeochemical Cycles* **8**: 127-134.
- Fitzgerald, G.J., Scow, K.M. and Hill, J.E. (2000). Fallow season straw and water management effects on methane emissions in California rice. *Global Biogeochem. Cycles*, **14**: 767-775.
- Huang, Y., Jiao, Y., Zong, L.G., Zheng, X.H., Sass, R.L. and Fisher, F.M. (2002). Quantitative dependence of methane emission on soil properties, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **64**(1-2): 157-167.
- Huang, Y., Zhang, W., Zheng, X.H., Li, J. and Yu, Y.Q. (2004). Modeling methane emission from rice paddies with various agricultural practices. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* **109** (D8): Art. No. D08113 APR 29 2004.
- IAEA (1992). Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture. IAEA-TECDOC-674, pp. 91.
- IGAC (1994). Global measurements standards of methane emissions for irrigated rice cultivation. Sass, R.L. and H.-U. Neue (eds.) IGAC Core Project Office, Cambridge, Mass., USA, 10 pp.

- IPCC (International Panel on Climate Change) (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook (Volume 2). Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (International Panel on Climate Change) (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, Cambridge.
- IRRI (1995). World rice statistics 1993-94, International Rice Research Institute, Los Banõs, pp. 260.
- Li, C.S., Mosier, A., Wassmann, R., Cai, Z.C., Zheng, X.H., Huang, Y., Tsuruta, H., Boonjawan, J. and Lantin, R. (2004). Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: Sensitivity analysis and upscaling, *Global Biogeochemical Cycles* **18**, doi: 10.1029/2003GB00204, 2004.
- Lindau, C.W., Bollich, P.K., de Laune, R.D., Mosier, A.R. and Bronson, K.F. (1993). Methane mitigation in flooded Louisiana rice fields. *Biology and Fertility of Soils* **15**: 174-178.
- Minami, K. (1995). The effect of nitrogen fertilizer use and other practices on methane emission from flooded rice. *Fertilizer Research* **40**: 71-84.
- Neue, H.U. and Sass, R. (1994). Trace gas emissions from rice fields. In: Prinn R.G. (ed.) Global Atmospheric-Biospheric Chemistry. Environmental Science Res. 48. Plenum Press, New York, pp. 119-148.
- Nouchi, I., Mariko, S. and Aoki, K. (1990). Mechanism of methane transport from the rhizosphere to the atmosphere through rice plants. *Plant Physiology* **94**: 59-66.
- Sass, R. (2002). CH₄ emissions from rice agriculture. In 'Background Papers, IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC-NGGIP, p. 399-417, available at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>.
- Sass, R.L., Fisher, F.M., Harcombe, P.A. and Turner, F.T. (1991). Mitigation of methane emission from rice fields: Possible adverse effects of incorporated rice straw. *Global Biogeochemical Cycles*, **5**: 275-287.
- Sass, R.L., Fisher, F.M., Wang, Y.B., Turner, F.T. and Jund, M.F. (1992). Methane emission from rice fields: The effect of floodwater management. *Global Biogeochemical Cycles* **6**: 249-262
- Sass, R. I., Fisher, F. M., Lewis, S. T., Jund, M. F. and Turner, F. T. (1994). Methane emissions from rice fields: Effect of soil properties. *Global Biogeochemical Cycles* **2**, 135-140, 1994.
- Schütz, H., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., Rennenberg, H. and Seiler, W. (1989). A 3-year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy. *Journal of Geophysical Research* **94**: 16405-16416.
- Takai, Y. (1970). The mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. *Soil Science and Plant Nutrition* **16**: 238-244.
- Wassmann, R., and Aulakh, M.S. (2000). The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. *Biology and Fertility of Soils* **31**: 20-29.
- Wassmann, R., Neue, H.U., Bueno, C., Lantin, R.S., Alberto, M.C.R., Buendia, L.V., Bronson, K., Papen, H. and Rennenberg, H. (1998). Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrates. *Plant and Soil* **203**: 227-237.
- Wassmann, R., Buendia, L.V., Lantin, R.S., Makarim, K., Chareonsilp, N. and Rennenberg, H. (2000). Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. II. Differences among irrigated, rainfed, and deepwater rice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **58**: 107-119.
- Watanabe, A. and Kimura, M. (1998). Factors affecting variation in CH₄ emission from paddy soils grown with different rice cultivars: A pot experiment. *Journal of Geophysical Research* **103**: 18947-18952.
- Yagi, K. and Minami, K. (1990). Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition* **36**: 599-610.
- Yagi, K., Tsuruta, H., Kanda, K. and Minami, K. (1996). Effect of water management on methane emission from a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. *Global Biogeochemical Cycles* **10**: 255-267.
- Yagi, K., Minami, K. and Ogawa, Y. (1998). Effect of water percolation on methane emission from rice paddies: a lysimeter experiment. *Plant and Soil* **198**: 193-200.
- Yan, X., Yagi, K., Akiyama, H. and Akimoto, H. (2005). Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology* **11**, 1131-1141, doi: 10/1111/j.1365-2486.2005.00976.x.