



Guide d'inventaire  
des gaz à effet de serre  
en Tunisie



Secteur de l'agriculture,  
de la forêt et des autres  
utilisations des terres



Guide d'inventaire  
des gaz à effet de serre  
en Tunisie

Secteur de l'agriculture,  
de la forêt et des autres  
utilisations des terres

Novembre 2019



## Table des matières

I. Agriculture et utcf (crf 3) : .....	6
1. Elevage (3A) : .....	6
1.1 Caractéristiques de la catégorie : .....	6
1.2 Méthode d'estimation des émissions : .....	7
1.3 Incertitude : .....	12
1.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) : .....	12
1.5 Améliorations envisagées : .....	12
2. Cultures (3C sauf 3C1a): .....	12
2.1 caractéristiques de la catégorie : .....	12
2.2 Méthode d'estimation des émissions : .....	13
2.2.1 Emissions dues au brûlage de la biomasse (CRF 3C1) .....	13
2.2.2 Emissions dues au chaulage (CRF 3C2).....	20
2.2.3 Emissions de CO <sub>2</sub> dues à l'application d'urée (CRF 3C3) .....	20
2.2.4 Emissions directes et indirectes de N <sub>2</sub> O imputables aux sols gérés (CRF 3C4 et 3C5).....	21
2.2.5 Emissions indirectes de N <sub>2</sub> O imputables à la gestion des déjections animales (CRF 3C6).....	33
2.2.6 Emissions de CH <sub>4</sub> imputables à la riziculture (CRF 3C7) .....	33
2.3 Incertitudes : .....	33
2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) : .....	33
2.5 Améliorations envisagées : .....	33
3. Forêt.....	33
3.1 Caractéristiques de la catégorie : .....	33
3.2 Méthode d'estimation des émissions : .....	34
3.3 Incertitude : .....	36
3.4 Contrôle et assurance qualité (qa/qc) : .....	36
3.5 Améliorations envisagées : .....	36
4. Autres affectations des terres (3B) : .....	36
4.1 Variations des stocks de bois mort, de litière et des sols (crf 3b1 a 3b6): .....	36
4.1.1 Caractéristiques de la catégorie : .....	36
4.1.2 Méthode d'estimation des émissions : .....	40
4.1.3 Incertitude : .....	49
4.1.4 Contrôle et assurance qualité (qa/qc) : .....	49
4.1.5 Améliorations envisagées : .....	49
4.2 Biomasse aérienne et souterraine des forêts et des cultures (3b1 et 3b2):.....	49
4.2.1 Caractéristiques de la catégorie .....	49
4.2.2 Méthode d'estimation des émissions : .....	50
4.2.3 Incertitudes : .....	54
4.2.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) : .....	54
4.2.5 Améliorations envisagées : .....	55

## I. Agriculture et utcf (crf 3)

### 1. Elevage (3A)

#### 1.1. Caractéristiques de la catégorie

Ce secteur est émetteur de méthane (CH<sub>4</sub>) et de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) liés à deux sources principales :

- La fermentation entérique des animaux (CH<sub>4</sub>)
- La gestion des déjections animales (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O)

Ces deux sources d'émission sont estimées à partir des cheptels présents en Tunisie eux-mêmes estimés grâce à plusieurs références. Les populations moyennes annuelles des espèces bovines, ovines, caprines utilisées proviennent directement de l'Annuaire des statistiques agricoles 2011.

Pour les volailles, l'estimation des populations moyennes annuelles est réalisée grâce au rapport annuel 2010 du GIPAC (Groupement Interprofessionnel des Produits Avicoles et Cunicoles) qui fournit le nombre de poulets de chair et de dindes produits annuellement et en utilisant l'équation 10.1 du GIEC.

**ÉQUATION 10.1**  
**POPULATION ANNUELLE MOYENNE**

$$PAM = \text{Jours\_vivants} \cdot \left( \frac{NAPA}{365} \right)$$

Où :

PAM = population annuelle moyenne

NAPA = nombre d'animaux produits annuellement

Pour la Tunisie, il a été considéré que la durée moyenne de vie des volailles est de 40 jours pour les poulets de chair et de 105 jours pour les dindes. Les poules pondeuses vivent en revanche toute l'année.

Pour les camelins, et les équins les populations sont estimées par dire d'expert et en s'appuyant sur les données d'années antérieures, étant donné que les statistiques omettent souvent d'indiquer les populations s'y rapportant.

A titre illustratif, les populations moyennes annuelles prises en compte dans l'inventaire sont les suivantes :

Catégories animales	2010 (têtes)
Vaches laitières	439 680
Autres bovins	231 310
Ovins	7 234 070
Caprins	1 295 940
Chevaux	23 000
Anes et Mules	164 000
Camelins	80 000
Poulets de chair	8 661 537
Poules pondeuses	6 213 996
Dindes	2 278 040

## 1.2. Méthode d'estimation des émissions :

### *Emissions de CH<sub>4</sub> liées à la fermentation entérique des animaux*

Les émissions de CH<sub>4</sub> liées à la fermentation entérique des animaux sont estimées grâce aux lignes directrices du GIEC 2006 (Chapitre 10). En l'absence de données avancées sur le secteur nécessaire à la mise en œuvre d'une méthodologie spécifique de niveau 2 en Tunisie, une méthode de niveau 1 a été mise en œuvre pour cette source d'émission.

Les émissions sont estimées grâce à l'équation 10.19 et aux facteurs d'émissions fournis dans les tableaux 10. et Tab 11.

ÉQUATION 10.19  
ÉMISSIONS DUES A LA FERMENTATION ENTERIQUE D'UNE CATEGORIE DE BETAIL

$$Emissions = FE_{(T)} \cdot \left( \frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

Où :

Émissions = émissions annuelles de méthane dues à la fermentation entérique, Gg CH<sub>4</sub> an<sup>-1</sup>

FE<sub>(T)</sub> = facteur d'émissions de la catégorie de bétail définie, kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

N<sub>(T)</sub> = nombre de têtes de l'espèce de bétail/catégorie T dans le pays

T = espèce/catégorie de bétail

Pour les bovins, il a été choisi de privilégier les données proposées pour l'Europe de l'Est (et non celles pour l'Afrique), car les données de production laitière notamment se rapprochent de celles présentées pour cette région. Ceux de l'Afrique étant trop bas au vu des performances animales obtenues en Tunisie.

Les facteurs d'émissions des ovins, caprins, équins, ânes et mules et camelins correspondent à ceux proposés par le GIEC pour les pays en voie de développement.

Les facteurs d'émissions de la fermentation entérique pris en compte dans l'inventaire sont les suivants :

Catégories animales	FE (kg CH <sub>4</sub> .tête <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> )
Vaches laitières	89
Autres bovins	58
Ovins	5
Caprins	5
Chevaux	18
Anes et Mules	10
Camelins	46
Poulets de chair	0
Poules pondeuses	0
Dindes	0

### *Emissions de CH<sub>4</sub> liées à la gestion des déjections animales*

Les émissions de CH<sub>4</sub> liées à la gestion des déjections animales sont estimées en passant par les lignes directrices du GIEC 2006 (Chapitre 10). Pour cette source l'équation 10.23 correspondant à une méthode de niveau 2 a été utilisée dans cet inventaire.

**ÉQUATION 10.23**

**FACTEUR D'ÉMISSIONS DE CH<sub>4</sub> DUES À LA GESTION DU FUMIER**

$$FE_{(T)} = (SV_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[ B_{o(T)} \cdot 0,67 \text{ kg/m}^3 \cdot \sum_{S,k} \frac{FCM_{S,k}}{100} \cdot GF_{(T,S,k)} \right]$$

Où :

$FE_{(T)}$  = facteur d'émissions de CH<sub>4</sub> de la catégorie de bétail  $T$ , kg CH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

$SV_{(T)}$  = solides volatils quotidiennement excrétés par la catégorie de bétail  $T$ , kg matière sèche animal<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup>

365 = base du calcul annuel de production de SV, jours an<sup>-1</sup>

$B_{o(T)}$  = capacité maximum de production de méthane pour le fumier produit par la catégorie de bétail  $T$ , m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> de SV excrétés

0,67 = facteur de conversion de m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> en kilogrammes de CH<sub>4</sub>

$FCM_{(S,k)}$  = facteurs de conversion du méthane pour le système de gestion du fumier  $S$  par région climatique  $k$ , %

$GF_{(T,S,k)}$  = fraction de fumier de la catégorie de bétail  $T$  traitée à l'aide du système de gestion du fumier  $S$  dans la région climatique  $k$ , non dimensionnel

La mise en œuvre de cette équation nécessite plusieurs paramètres, la plupart (SV, Bo, FCM) sont issus du GIEC, seule la fraction de fumier (GF) est estimée à partir d'une expertise nationale. Pour les bovins, les paramètres choisis correspondent à ceux proposés pour l'Europe de l'Est. Pour les ovins, caprins, équins et camelins les paramètres choisis sont ceux proposés pour les pays en voie de développement. Pour les volailles ce sont ceux proposés pour les pays développés car les systèmes de production avicoles sont proches de ceux observés dans les pays développés.

En Tunisie, les déjections produites en bâtiment sont gérées sous forme solide (fumier), les systèmes liquides (caillebotis) n'existant pas. Pour les poules pondeuses la gestion de fientes se fait sans paille mais elle est supposée correspondre à un stockage solide.

Les paramètres utilisés et les facteurs d'émissions calculés sont présentés dans les tableaux suivants :

Système de gestion	FCM (%)
Stockage solide	4%
Pâturage/Parcours	1,5%

Catégories animales	GF= bâtiment (%)	GF= parcours (%)	SV (kg.tête <sup>-1</sup> . jour <sup>-1</sup> )	B <sub>o</sub> (m <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> / Kg de SV)	FE (kg CH <sub>4</sub> .tête <sup>-1</sup> . an <sup>-1</sup> )
Vaches laitières	75%	25%	4.5	0.24	9
Autres bovins	75%	25%	2.7	0.17	4
Ovins	25%	75%	0.32	0.13	0.22
Caprins	25%	75%	0.35	0.13	0.24
Chevaux	90%	10%	1.72	0.26	4.1
Anes et Mules	5%	95%	0.94	0.26	0.97
Camelins	5%	95%	2.49	0.21	2.1
Poulets de chair	100%	0%	0.01	0.36	0.04
Poules pondeuses	100%	0%	0.02	0.39	0.08
Dindes	100%	0%	0.07	0.36	0.25



Les émissions de CH<sub>4</sub> liées à la gestion des déjections animales sont ensuite estimées grâce à l'équation 10.22.

**ÉQUATION 10.22**  
**ÉMISSIONS DE CH<sub>4</sub> DUES A LA GESTION DU FUMIER**

$$CH_{4\text{fumier}} = \sum_{(T)} \frac{(FE_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6}$$

Où :

CH<sub>4</sub><sub>fumier</sub> = émissions de CH<sub>4</sub> dues à la gestion du fumier, pour une population définie, Gg CH<sub>4</sub> an<sup>-1</sup>

FE<sub>(T)</sub> = facteur d'émissions de la catégorie de bétail définie, kg CH<sub>4</sub> tête<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

N<sub>(T)</sub> = nombre de têtes de l'espèce de bétail/catégorie T dans le pays

T = espèce/catégorie de bétail

**Emissions directes de N<sub>2</sub>O liées à la gestion des déjections animales**

Les émissions directes de N<sub>2</sub>O liées à la gestion des déjections animales sont estimées grâce aux lignes directrices du GIEC 2006 (Chapitre 10). Pour cette source l'équation 10.25 du GIEC correspondant à une méthode de niveau 1 a été utilisée dans cet inventaire.

**ÉQUATION 10.25**  
**ÉMISSIONS DIRECTES DE N<sub>2</sub>O DUES A LA GESTION DU FUMIER**

$$N_2O_{D(gf)} = \left[ \sum_S \left[ \sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot GF_{(T,S)}) \right] \cdot FE_{3(S)} \right] \cdot \frac{44}{28}$$

Où :

N<sub>2</sub>O<sub>D(gf)</sub> = émissions directes de N<sub>2</sub>O dues à la gestion du fumier dans le pays, kg N<sub>2</sub>O an<sup>-1</sup>

N<sub>(T)</sub> = nombre de têtes de l'espèce de bétail/catégorie T dans le pays

Nex<sub>(T)</sub> = excréments annuels moyennes de N par tête de l'espèce/catégorie T dans le pays, kg N animal<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

GF<sub>(T,S)</sub> = fraction d'azote annuel total excrété par l'espèce/catégorie de bétail T gérée dans le système de gestion du fumier S dans le pays, non dimensionnel

FE<sub>3(S)</sub> = facteur d'émissions des émissions directes de N<sub>2</sub>O du système de gestion du fumier S dans le pays, kg N<sub>2</sub>O-N/kg N dans le système de gestion du fumier S

S = système de gestion du fumier

T = espèce/catégorie de bétail

44/28 = conversion des émissions de (N<sub>2</sub>O-N)<sub>(gf)</sub> en émissions de N<sub>2</sub>O<sub>(gf)</sub>

La mise en œuvre de cette équation nécessite plusieurs paramètres. La fraction de fumier (GF) est la même que celle utilisée pour l'estimation des émissions de CH<sub>4</sub> et est estimée à partir d'une expertise nationale. Le paramètre Nex est calculé grâce à l'équation 10.30 du GIEC et aux paramètres par défaut fournis par le GIEC dans les tableaux 10A-4 à 10A-9.

**EQUATION 10.30**  
**TAUX ANNUELS D'EXCRETION DE N**

$$N_{ex(T)} = N_{taux(T)} \cdot \frac{MAT}{1000} \cdot 365$$

Où :

$N_{ex(T)}$  = excrétion annuelle de N de la catégorie de bétail  $T$ , kg N animal<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

$N_{taux(T)}$  = taux d'excrétion de N par défaut, kg N (1 000 kg masse animale)<sup>-1</sup> jour<sup>-1</sup> (voir tableau 10.19)

$MAT(T)$  = masse animale type pour la catégorie de bétail  $T$ , kg animal<sup>-1</sup>

Pour les bovins, les paramètres choisis (MAT et N<sub>taux</sub>) correspondent à ceux proposés par le GIEC pour l'Europe de l'Est. Pour les ovins, caprins, équins, camelins et volailles le paramètre N<sub>taux</sub> est celui proposé pour le Moyen-Orient. Pour les ovins, caprins, équins et camelins le paramètre MAT est celui des pays en développement alors que pour les volailles, le facteur proposé pour les pays développés a été retenu en cohérence avec les choix réalisés sur les émissions de CH<sub>4</sub>.

Les paramètres utilisés et les facteurs d'émissions calculés sont présentés dans le tableau suivant :

Catégories animales	MAT (kg.tête <sup>-1</sup> )	N <sub>taux</sub> (KgN.1000 Kg <sup>-1</sup> .jour <sup>-1</sup> )	FE (kgN.tête <sup>-1</sup> . an <sup>-1</sup> )
Vaches laitières	550	0,35	70,263
Autres bovins	391	0,35	49,950
Ovins	28	1,17	11,957
Caprins	30	1,37	15,002
Chevaux	238	0,46	39,960
Anes et Mules	130	0,46	21,827
Camelins	217	0,46	36,434
Poulets de chair	0,9	1,1	0,361
Poules pondeuses	1,8	0,82	0,539
Dindes	6,8	0,74	1,837

**Emissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la gestion des déjections animales**

En plus des émissions directes de N<sub>2</sub>O liées au bâtiment et au stockage, le GIEC estime des émissions indirectes liées à la déposition d'azote volatilisé sous forme d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) ou de monoxyde d'azote (NO) et la présence d'azote dans les eaux superficielles suite à des phénomènes de lixiviation et de lessivage.

Pour les émissions liées à la volatilisation, les estimations sont basées sur les équations 10.26 et 10.27 du GIEC.

**ÉQUATION 10.26**  
**PERTES DE N DUES A LA VOLATILISATION LORS DE LA GESTION DU FUMIER**

$$N_{\text{volatilisation-SGF}} = \sum_S \left[ \sum_T \left[ \left( N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot GF_{(T,S)} \right) \cdot \left( \frac{Frac_{GazGF}}{100} \right)_{(T,S)} \right] \right]$$

Où :

$N_{\text{volatilisation-SGF}}$  = quantité d'azote de fumier perdue en raison de la volatilisation du  $\text{NH}_3$  et du  $\text{NO}_x$ , kg N  $\text{an}^{-1}$

$N_{(T)}$  = nombre de têtes de l'espèce de bétail/catégorie T dans le pays

$Nex_{(T)}$  = excréments annuels moyennes de N par tête de l'espèce/catégorie T dans le pays, kg N animal $^{-1}$   $\text{an}^{-1}$

$GF_{(T,S)}$  = fraction d'azote annuel total excrété par l'espèce/catégorie de bétail T gérée dans le système de gestion du fumier S dans le pays, non dimensionnel

$Frac_{GazGF}$  = pourcentage d'azote de fumier géré pour la catégorie de bétail T qui se volatilise en tant que  $\text{NH}_3$  et  $\text{NO}_x$  dans le système de gestion du fumier S, %

**ÉQUATION 10.27**  
**ÉMISSIONS INDIRECTES DE  $\text{N}_2\text{O}$  DUES A LA VOLATILISATION DU N LORS DE LA GESTION DU FUMIER**

$$N_2O_{G(\text{gf})} = (N_{\text{volatilisation-SGF}} \cdot FE_4) \cdot \frac{44}{28}$$

Où :

$N_2O_{G(\text{gf})}$  = émissions indirectes de  $\text{N}_2\text{O}$  dues à la volatilisation du N lors de la gestion du fumier dans le pays, kg  $\text{N}_2\text{O}$   $\text{an}^{-1}$

$FE_4$  = facteur d'émissions pour les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  dues au dépôt atmosphérique d'azote sur les sols et des surfaces aquatiques, kg  $\text{N}_2\text{O-N}$  (kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  +  $\text{NO}_x\text{-N}$  volatilisé) $^{-1}$  ; la valeur par défaut est de 0,01 kg  $\text{N}_2\text{O-N}$  (kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  +  $\text{NO}_x\text{-N}$  volatilisé) $^{-1}$ , donnée au tableau 11.3 du chapitre 11.

Le facteur d'émission  $FE_4$  utilisé correspond à la valeur par défaut du GIEC à savoir 0,01 kg  $\text{N}_2\text{O-N}$ .(kg  $\text{NH}_3\text{-N}$  +  $\text{NO}_x\text{-N}$  volatilisé) $^{-1}$  fourni dans le tableau 11.3 du chapitre 11.

Les paramètres  $Nex$  et  $GF$  sont identiques à ceux déjà estimés pour les émissions directes de  $\text{N}_2\text{O}$ , le paramètre  $Frac_{GazGF}$  est basé sur les données par défaut fournies dans le tableau 10.22 du chapitre 10.

Les paramètres utilisés et les facteurs d'émissions calculés sont présentés dans le tableau suivant :

Catégories animales	$FRAC_{GazGF}$ (%)	$N_{\text{volatilisé}}$ (kgN.tête $^{-1}$ .an $^{-1}$ )
Vaches laitières	30%	15,81
Autres bovins	45%	16,86
Ovins	12%	0,36
Caprins	12%	0,45
Chevaux	12%	4,32
Anes et Mules	12%	0,13
Camelins	12%	0,22
Poulets de chair	40%	0,14
Poules pondeuses	55%	0,30
Dindes	40%	0,73

En l'absence de données relatives à la fraction d'azote du fumier lessivée dans les systèmes de gestion de fumier et en raison de la situation climatique de la Tunisie, cette fraction a été considérée nulle. Aucune émission liée au lessivage lors du stockage des fumiers n'a été estimée.

### 1.3. Incertitude :

L'approche de détermination et d'estimation des incertitudes est présentée dans le volume 6 du présent guide.

### 1.4. Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :

Les dispositions générales décrites dans le chapitre II du volume introductif sont appliquées.

### 1.5. Améliorations envisagées :

En élevage, les méthodes mises en place correspondent essentiellement à des méthodes de niveau 1. La principale source de l'élevage est la fermentation entérique des animaux, c'est aussi celle pour laquelle la méthode de niveau 2 est la plus aboutie dans les lignes directrices du GIEC. Par conséquent, il est envisageable à moyen terme de migrer vers une méthodologie de niveau 2 pour les ovins et les bovins qui correspondent aux cheptels les plus émetteurs.

Sur les autres sources, l'utilisation de travaux de la recherche tunisienne pourrait permettre de préciser les estimations actuellement réalisées sur la base de la littérature internationale.

## 2. Cultures (3C sauf 3C1a):

### 2.1. Caractéristiques de la catégorie :

En fait, la catégorie CRF 3C est désignée par « Aggregate sources and non-CO2 emissions sources on land », et regroupe les sources d'émission mentionnées dans le tableau suivant.

3.C - Aggregate sources and non-CO2 emissions sources on land	Applicabilité en Tunisie
3.C.1 - Emissions from biomass burning	
3.C.1.a - Biomass burning in forest lands	Oui
3.C.1.b - Biomass burning in croplands	Oui
3.C.1.c - Biomass burning in grasslands	Oui
3.C.1.d - Biomass burning in all other land	Non
3.C.2 - Liming	Non
3.C.3 - Urea application	Oui
3.C.4 - Direct N2O Emissions from managed soils	Oui
3.C.5 - Indirect N2O Emissions from managed soils	Oui
3.C.6 - Indirect N2O Emissions from manure management	Oui
3.C.7 - Rice cultivations	Non
3.C.8 - Other (please specify)	Non

L'inventaire tunisien a concerné uniquement les sous-catégories CRF concernées en Tunisie (tramées en jaune et portant la mention « oui » dans la colonne de droite du tableau ci-dessus)

La dénomination « Cultures » a été en fait donnée à l'équipe du ministère de l'agriculture qui s'est chargée des calculs se rapportant à la catégorie CRF 3C. La FM a également porté cette dénomination, pour de simples raisons pratiques. En effet, l'équipe « cultures » a essentiellement travaillé sur les sous-catégories 3 C3, 3 C4, et 3 C5. Les autres catégories/sous-catégories ont été prises en charge par l'équipe forêts (3 C1a, 3 C1b et 3 C1c).

Toutefois, cette section de l'annexe méthodologique couvrira toutes les sous-catégories applicables pour la Tunisie, nonobstant l'équipe qui s'est chargé des calculs, et la FM incluant ces calculs.

Cette catégorie CRF 3 C est principalement émettrice d'oxyde nitreux (désigné aussi par protoxyde d'azote - N<sub>2</sub>O) lié à trois principales sources, qui représentent 97% des émissions de cette catégorie :

- ❑ Les émissions directes de N<sub>2</sub>O découlant des sols gérés (3 C.4) ;
- ❑ Les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O découlant des sols gérés (3 C.5) ;
- ❑ Les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O découlant de la gestion des déjections animales (3 C.6).

Les émissions imputables à l'application des engrais à l'urée (3 C.3) sur les sols restent peu significatives, étant donné les faibles quantités utilisées et le caractère exceptionnel en Tunisie de telles applications.

Enfin, les émissions dues aux incendies de forêts et autres incendies entraînant le brûlage de la biomasse sur les terrains agricoles et les terres pastorales restent également peu significatives, en raison des faibles surfaces concernées en Tunisie.

## 2.2. Méthode d'estimation des émissions :

### 2.2.1. Emissions dues au brûlage de la biomasse (CRF 3C1)

Le calcul des émissions a été effectué sur la base de la méthodologie générique suggérée par le GIEC2006, à travers l'application de l'équation 2.27.

Une méthodologie générique d'estimation des émissions de gaz à effet de serre individuels pour tout type de feu est résumée à l'équation 2.27.

#### ÉQUATION 2.27 ESTIMATION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DUES AU FEU

$$P_{\text{feu}} = S \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_g \cdot 10^{-3}$$

Où :

$P_{\text{feu}}$  = Quantité d'émissions de gaz à effet de serre dues au feu, tonnes de chaque GES, par exemple, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, etc.

S = Superficie brûlée, ha

$M_B$  = Masse de combustible disponible à la combustion, tonnes ha<sup>-1</sup>. Sont inclus la biomasse, la litière du sol et le bois mort. Lorsqu'on utilise des méthodes de niveau 1, on suppose que les pools de litière et de bois mort sont nuls, sauf lorsqu'il y a un changement d'affectation des terres (lire la section 2.3.2.2).

$C_f$  = Facteur de combustion, non dimensionnel (valeurs par défaut au tableau 2.6)

$G_g$  = Facteur d'émissions, g kg<sup>-1</sup> de matière sèche brûlée (valeurs par défaut au tableau 2.5)

Note : Lorsqu'aucune donnée n'est disponible pour  $M_B$  et  $C_f$ , une valeur par défaut correspondant à la quantité de combustible réellement brûlée (le produit de  $M_B$  et de  $C_f$ ) peut être utilisée (tableau 2.4) à la méthodologie de niveau 1.

Pour les émissions de CO<sub>2</sub>, l'équation 2.27 est liée à l'équation 2.14, qui estime la quantité annuelle de pertes de biomasse vivante pour tout type de perturbation.

### ***Le brûlage de la biomasse imputable aux incendies de forêts (3C1a)***

Le calcul des émissions repose sur la quantité de biomasse brûlée accidentellement par les incendies de forêts. Cette quantité découle elle-même des surfaces incendiées annuellement, dont les statistiques sont enregistrées par la Direction Générale des Forêts (DGF).

D'après les discussions avec les experts de la DGF, lors de l'occurrence de feux de forêts, le brûlage de la biomasse concerne essentiellement les feuilles, et les branches, et les quantités vraiment brûlées restent insignifiantes. Mais les arbres situés dans les surfaces incendiées sont considérés définitivement perdus. Un nettoyage total est alors fait de ces surfaces, et tout le bois en résultant est acheminé pour être vendu en tant que bois de feu. Les statistiques relatives à ces quantités de bois évacuées sont rapportées dans le rapport annuel 2010 de la régie d'exploitation forestière, en tant que données d'extraction de bois de chauffage.

Toutefois, dans le présent inventaire, pour garder la logique de la sous-catégorie, les émissions sont maintenues dans cette sous-catégorie 3C1a. Les émissions calculées n'ont donc pas été incluses dans les émissions dues à l'utilisation de la biomasse-énergie.

Le terme MB (biomasse disponible à la combustion) utilisé correspond à une valeur nationale (54,7 TMS/ha) reflétant les calculs du poids de biomasse (et donc de carbone) sur pieds faits pour la catégorie 3 B1 (terres forestières). La multiplication de MB par le facteur Cf par défaut (0,45, tableau 2.6 du GIEC) donne une valeur de 24,6 ; ce qui est assez proche de la valeur « MB x Cf » par défaut donnée par le GIEC (19,8 ; tableau 2.4).

Type de végétation	Sous-catégorie	Moyenne	SD	Références
Forêt primaire tropicale (rémanents et brûlis)	Forêt primaire tropicale	0,32	0,12	7, 8, 15, 56, 66, 3, 16, 53, 17, 45,
	Forêt primaire tropicale claire	0,45	0,09	21
	Forêt primaire tropicale humide	0,50	0,03	37, 73
	Forêt primaire tropicale sèche	-	-	66
<b>Toutes les forêts primaires tropicales</b>		<b>0,36</b>	<b>0,13</b>	
Forêt secondaire tropicale (rémanents et brûlis)	Forêt secondaire tropicale jeune (3-5 ans)	0,46	-	61
	Forêt secondaire tropicale intermédiaire (6-10 ans)	0,67	0,21	61, 35
	Forêt secondaire tropicale mature (14-17 ans)	0,50	0,10	61, 73
<b>Toutes les forêts secondaires tropicales</b>		<b>0,55</b>	<b>0,06</b>	56, 66, 34, 30
<b>Toutes les forêts tertiaires tropicales</b>		<b>0,59</b>	-	66, 30
Forêt boréale	Feux sauvage (général)	0,40	0,06	33
	Feux de cimes	0,43	0,21	66, 41, 64, 63
	Feux de surface	0,15	0,08	64, 63
	Brûlis post-abattage	0,33	0,13	49, 40, 18
	Feux de défrichage	0,59	-	67
<b>Toutes les forêts boréales</b>		<b>0,34</b>	<b>0,17</b>	45, 47
Forêts d'eucalyptus	Feux sauvages	-	-	
	Feux contrôlés – (surface)	0,61	0,11	72, 54, 60, 9
	Brûlis post-abattage	0,68	0,14	25, 58, 46
	Bois abattus, extrait et brûlé (feux de défrichage des terres)	0,49	-	62
<b>Toutes les forêts d'eucalyptus</b>		<b>0,63</b>	<b>0,13</b>	
Autres forêts tempérées	Brûlis post-abattage	0,62	0,12	55, 19, 27, 14
	Bois abattus, extrait et brûlé (feux de défrichage des terres)	0,51	-	53, 24, 71
<b>Toutes les « autres » forêts tempérées</b>		<b>0,45</b>	<b>0,16</b>	53, 56



TABLEAU 2.4 VALEURS DE CONSOMMATION DE LA BIOMASSE (MATIÈRE ORGANIQUE MORTE PLUS BIOMASSE VIVANTE) (TONNES MATIÈRE SÈCHE HA <sup>-1</sup> ) POUR LES FEUX DANS DIVERS TYPES DE VÉGÉTATION (À utiliser à l'équation 2.27, pour estimer le produit des quantités ' M <sub>B</sub> • C <sub>r</sub> ', soit une quantité absolue)				
Type de végétation	Sous-catégorie	Moyenne	SE	Références
Forêt primaire tropicale (rémanents et brûlis)	Forêt primaire tropicale	83,9	25,8	7, 15, 66, 3, 16, 17, 45
	Forêt primaire tropicale ouverte	163,6	52,1	21,
	Forêt primaire tropicale humide	160,4	11,8	37, 73
	Forêt primaire tropicale sèche	-	-	66
<b>Tous types de forêts tropicales primaires</b>		<b>119,6</b>	<b>50,7</b>	
Forêt secondaire tropicale (rémanents et brûlis)	Forêt secondaire jeune (3-5 ans)	8,1	-	61
	Forêt secondaire intermédiaire (6-10 ans)	41,1	27,4	61, 35
	Forêt tropicale secondaire avancée (14-17 ans)	46,4	8,0	61, 73
<b>Tous types de forêts tropicales secondaires</b>		<b>42,2</b>	<b>23,6</b>	66, 30
<b>Tous types de forêts tropicales tertiaires</b>		<b>54,1</b>	-	66, 30
Forêt boréale	Feux sauvages (généraux)	52,8	48,4	2, 33, 66
	Feux de cimes	25,1	7,9	11, 43, 66, 41, 63, 64
	Feux de surface	21,6	25,1	43, 69, 66, 63, 64, 1
	Rémanents et brûlis post-abattage	69,6	44,8	49, 40, 66, 18
	Feux de défrichage des terres	87,5	35,0	10, 67
<b>Tous types de forêts boréales</b>		<b>41,0</b>	<b>36,5</b>	43, 45, 69, 47
Forêts d'eucalyptus	Feux sauvages	53,0	53,6	66, 32, 9
	Feux contrôlés (surface)	16,0	13,7	66, 72, 54, 60, 9
	Rémanents et brûlis post-abattage	168,4	168,8	25, 58, 46
	Bois abattu, extrait et brûlé (feux de défrichage des terres)	132,6	-	62, 9
<b>Tous types de forêts d'eucalyptus</b>		<b>69,4</b>	<b>100,8</b>	
Autres forêts tempérées	Feux sauvages	19,8	6,3	32, 66
	Rémanents et brûlis post-abattage	77,5	65,0	55, 19, 14, 27, 66
	Bois abattu, extrait et brûlé (feux de défrichage des terres)	48,4	62,7	53, 24, 71
<b>Tous « autres » types de forêts tempérées</b>		<b>50,4</b>	<b>53,7</b>	43, 56

Les émissions de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz sont ensuite calculées sur la base des facteurs par défaut du GIEC, à partir du tableau 2.5 (ex. 1569 g de CO<sub>2</sub>/kg de matière sèche brûlée). Les calculs sont effectués dans l'onglet « Incendies » de la FM « Forêts », et les résultats sont dûment reportés dans la ligne 24 de l'onglet CRF forêts.

Il faut rappeler que les émissions de CO<sub>2</sub> sont effectivement comptabilisées étant donné que les incendies de forêt débouchent sur l'abattage définitif des arbres concernés par les surfaces incendiées, et que la re-séquestration du carbone durant la prochaine saison de repousse ne se fait plus.



Catégorie	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
Savanes et prairies	1613 ± 95	65 ± 20	2,3 ± 0,9	0,21 ± 0,10	3,9 ± 2,4
Résidus agricoles	1515 ± 177	92 ± 84	2,7	0,07	2,5 ± 1,0
Forêt tropicale	1580 ± 90	104 ± 20	6,8 ± 2,0	0,20	1,6 ± 0,7
Forêt extra tropicale	1569 ± 131	107 ± 37	4,7 ± 1,9	0,26 ± 0,07	3,0 ± 1,4
Brûlage de biocombustible	1550 ± 95	78 ± 31	6,1 ± 2,2	0,06	1,1 ± 0,6

Note : La catégorie « forêt extra tropicale » comprend tous les autres types de forêts.  
Note : Pour la combustion de biomasse non ligneuse dans les prairies et les terres cultivées, les émissions de CO<sub>2</sub> ne doivent pas nécessairement être estimées et notifiées, parce qu'on suppose que les absorptions annuelles (par la croissance) et les émissions (soit par la décomposition soit par le feu) de CO<sub>2</sub> par la biomasse sont à l'équilibre (lire ci-dessus les explications sur la synchronie, à la section 2.4).

### Le brûlage de la biomasse imputable aux incendies dans les parcours (3C1b)

Le calcul des émissions repose sur la quantité de biomasse brûlée accidentellement par les incendies sur les parcours, et plus particulièrement les maquis et garrigues, ainsi que les « Strate herbacée » et « Résidus ». Cette quantité découle elle-même des surfaces incendiées annuellement, dont les statistiques sont enregistrées par la Direction Générale des Forêts (DGF).

Pour ce qui est des maquis et garrigues, « Strate herbacée » et « Résidus », contrairement aux surfaces forestières où les données nationales ont été considérées dans le calcul de la biomasse exposée à la combustion durant la combustion, on a utilisé ici la valeur par défaut du GIEC du facteur «  $M_B \times C_F$  » (14,3 ; tableau 2.4 - suite).

Type de végétation	Sous-catégorie	Moyenne	SE	Références
Terres arbustives	Terres arbustives (générales)	26,7	4,2	43
	Lande <i>Calluna</i>	11,5	4,3	26, 39
	Armoise	5,7	3,8	66
	Fynbos	12,9	0,1	70, 66
<b>Toutes les terres arbustives</b>		<b>14,3</b>	<b>9,0</b>	

Les émissions de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz sont ensuite calculées sur la base des facteurs par défaut du GIEC de la catégorie « Savanes et prairies », à partir du tableau 2.5 (ex. 1613 g de CO<sub>2</sub>/kg de matière sèche brûlée). Les calculs sont effectués dans l'onglet « Incendies » de la FM « Forêts », et les résultats sont dûment reportés dans la ligne 26 de l'onglet CRF forêts.

**TABLEAU 2.5**  
**FACTEURS D'ÉMISSIONS (g kg<sup>-1</sup> MATIÈRE SÈCHE BRÛLÉE) POUR DIFFÉRENTS TYPES DE BRÛLAGE. LES VALEURS SONT DES MOYENNES DE ± SD BASEES SUR L'ÉTUDE EXHAUSTIVE MÈNEE PAR ANDREAE ET MERLET (2001)**  
 (À utiliser comme quantité 'G<sub>ef</sub>' à l'équation 2.27)

Catégorie	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
Savanes et prairies	1613 ± 95	65 ± 20	2,3 ± 0,9	0,21 ± 0,10	3,9 ± 2,4
Résidus agricoles	1515 ± 177	92 ± 84	2,7	0,07	2,5 ± 1,0
Forêt tropicale	1580 ± 90	104 ± 20	6,8 ± 2,0	0,20	1,6 ± 0,7
Forêt extra tropicale	1569 ± 131	107 ± 37	4,7 ± 1,9	0,26 ± 0,07	3,0 ± 1,4
Brûlage de biocombustible	1550 ± 95	78 ± 31	6,1 ± 2,2	0,06	1,1 ± 0,6

Note : La catégorie « forêt extra tropicale » comprend tous les autres types de forêts.  
 Note : Pour la combustion de biomasse non ligneuse dans les prairies et les terres cultivées, les émissions de CO<sub>2</sub> ne doivent pas nécessairement être estimées et notifiées, parce qu'on suppose que les absorptions annuelles (par la croissance) et les émissions (soit par la décomposition soit par le feu) de CO<sub>2</sub> par la biomasse sont à l'équilibre (lire ci-dessus les explications sur la synchronie, à la section 2.4).

Il faut rappeler que pour les maquis et garrigues, les émissions de CO<sub>2</sub> sont effectivement comptabilisées étant donné que les incendies de maquis et garrigues débouchent sur la destruction définitive des arbustes concernés par les surfaces incendiées, et que la re-séquestration du carbone durant la prochaine saison de repousse ne se fait plus. En revanche, aucune émission de CO<sub>2</sub> n'est comptabilisée pour les catégories « Strate herbacée » et « Résidus », dans la mesure où ces strates renaissent systématiquement, telles quelles, lors de la prochaine saison de repousse.

### **Le brûlage de la biomasse imputable aux incendies dans les cultures (3C1c)**

Cette catégorie concerne les émissions découlant des incendies accidentels intervenant dans les champs agricoles (Blé, Orge, Fourrages, Arbres fruitiers et Chaumes).

Le calcul des émissions repose sur la quantité de biomasse brûlée accidentellement par les incendies sur ces champs agricoles en général. Cette quantité découle elle-même des surfaces incendiées annuellement, dont les statistiques sont enregistrées par la Direction Générale des Forêts (DGF).

En ce qui concerne l'arboriculture, le terme MB (biomasse disponible à la combustion) utilisé correspond à une valeur nationale (32,8 TMS/ha) reflétant les calculs du poids de biomasse (et donc de carbone) sur pieds faits à partir des données de « population » d'arboriculture pour l'ensemble de la Tunisie. La multiplication de MB par le facteur Cf par défaut (0,45, tableau 2.6 du GIEC) donne une valeur de 14,8 ; ce qui est assez proche de la valeur « MB x Cf » par défaut donnée par le GIEC pour les terres arbustives (14,3 ; tableau 2.4 - Suite) et pour les forêts tempérées (19,8 ; tableau 2.4).

Les émissions de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz sont ensuite calculées sur la base des facteurs par défaut du GIEC de la catégorie forêts extra tropicales, à partir du tableau 2.5 (ex. 1569 g de CO<sub>2</sub>/kg de matière sèche brûlée). Les calculs sont effectués dans l'onglet « Incendies » de la FM « Forêts », et les résultats sont dûment reportés dans la ligne 25 de l'onglet CRF forêts.

Il faut rappeler que pour les incendies intervenant dans les espaces arboricoles, les émissions de CO<sub>2</sub> sont effectivement comptabilisées étant donné que les incendies sur des surfaces arboricoles débouchent sur l'abattage définitif des arbres fruitiers concernés par les surfaces incendiées, et que la re-séquestration du carbone durant la prochaine saison de repousse ne se fait plus.

TABLEAU 2.5 FACTEURS D'ÉMISSIONS (g kg <sup>-1</sup> MATIÈRE SÈCHE BRÛLÉE) POUR DIFFÉRENTS TYPES DE BRÛLAGE. LES VALEURS SONT DES MOYENNES DE ± SD BASÉES SUR L'ÉTUDE EXHAUSTIVE MENÉE PAR ANDREAE ET MERLET (2001) (À utiliser comme quantité 'G <sub>cf</sub> ' à l'équation 2.27)					
Catégorie	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
Savanes et prairies	1613 ± 95	65 ± 20	2,3 ± 0,9	0,21 ± 0,10	3,9 ± 2,4
Résidus agricoles	1515 ± 177	92 ± 84	2,7	0,07	2,5 ± 1,0
Forêt tropicale	1580 ± 90	104 ± 20	6,8 ± 2,0	0,20	1,6 ± 0,7
Forêt extra tropicale	1569 ± 131	107 ± 37	4,7 ± 1,9	0,26 ± 0,07	3,0 ± 1,4
Brûlage de biocombustible	1550 ± 95	78 ± 31	6,1 ± 2,2	0,06	1,1 ± 0,6

Note : La catégorie « forêt extra tropicale » comprend tous les autres types de forêts.  
 Note : Pour la combustion de biomasse non ligneuse dans les prairies et les terres cultivées, les émissions de CO<sub>2</sub> ne doivent pas nécessairement être estimées et notifiées, parce qu'on suppose que les absorptions annuelles (par la croissance) et les émissions (soit par la décomposition soit par le feu) de CO<sub>2</sub> par la biomasse sont à l'équilibre (lire ci-dessus les explications sur la synchronie, à la section 2.4).

La quantité de matière sèche brûlée disponible au brûlage (blé et orge) pour un hectare est calculée en se basant sur le chiffre 4,75 TMS/ha pour le blé, et 2,85 TMS/ha pour l'orge. Ces chiffres représentent la somme de la production de grains et des AEMS (Matière sèche des résidus aériens), tels qu'effectivement calculées dans la FM cultures (respectivement lignes 175 et 226, et 176 et 227 de l'onglet « Methodo »).

Ensuite, le rapport est multiplié par le facteur de combustion Cf (0,9) tel que suggéré par le tableau 2.6 du GIEC (catégorie résidus de blé).

En ce qui concerne le brûlage des chaumes, le calcul a été fait (cf. onglet « Calcul chaumes » dans la FM « Forêts ») en tenant compte de la spécificité de la production tunisienne, et conformément aux estimations faites dans la FM cultures. Ensuite, le rapport est multiplié par le facteur de combustion Cf (0,9) tel que suggéré par le tableau 2.6 du GIEC (catégorie résidus de blé).

Il faut rappeler que pour les incendies intervenant dans les plantations céréalières, et touchant le blé, l'orge et les chaumes, les émissions de CO<sub>2</sub> ne sont pas comptabilisées, puisque le carbone émis sera la re-séquestré durant la prochaine saison de production céréalières. En revanche, les émissions des autres gaz sont dument comptabilisées, conformément aux préconisations du GIEC. Le tableau 2.6 du GIEC ci-après montre les facteurs d'émissions utilisés pour la Tunisie.

TABLEAU 2.5 FACTEURS D'ÉMISSIONS (g kg <sup>-1</sup> MATIÈRE SÈCHE BRÛLÉE) POUR DIFFÉRENTS TYPES DE BRÛLAGE. LES VALEURS SONT DES MOYENNES DE ± SD BASÉES SUR L'ÉTUDE EXHAUSTIVE MENÉE PAR ANDREAE ET MERLET (2001) (À utiliser comme quantité 'G <sub>cf</sub> ' à l'équation 2.27)					
Catégorie	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
Savanes et prairies	1613 ± 95	65 ± 20	2,3 ± 0,9	0,21 ± 0,10	3,9 ± 2,4
Résidus agricoles	1515 ± 177	92 ± 84	2,7	0,07	2,5 ± 1,0
Forêt tropicale	1580 ± 90	104 ± 20	6,8 ± 2,0	0,20	1,6 ± 0,7
Forêt extra tropicale	1569 ± 131	107 ± 37	4,7 ± 1,9	0,26 ± 0,07	3,0 ± 1,4
Brûlage de biocombustible	1550 ± 95	78 ± 31	6,1 ± 2,2	0,06	1,1 ± 0,6

Note : La catégorie « forêt extra tropicale » comprend tous les autres types de forêts.  
 Note : Pour la combustion de biomasse non ligneuse dans les prairies et les terres cultivées, les émissions de CO<sub>2</sub> ne doivent pas nécessairement être estimées et notifiées, parce qu'on suppose que les absorptions annuelles (par la croissance) et les émissions (soit par la décomposition soit par le feu) de CO<sub>2</sub> par la biomasse sont à l'équilibre (lire ci-dessus les explications sur la synchronie, à la section 2.4).

TABLEAU 2.6 (SUITE)				
VALEURS DES FACTEURS DE COMBUSTION (PROPORTION DE BIOMASSE PRÉSENTE AVANT LE FEU ET CONSOMMÉE) POUR LES FEUX DANS DIVERS TYPES DE VÉGÉTATION				
(Les valeurs de la colonne « moyenne » sont utilisées pour la quantité $C_f$ de l'équation 2.27)				
Type de végétation	Sous-catégorie	Moyenne	SD	Références
Terres arbustives	Terres arbustives (générales)	0.95	-	44
	Lande <i>Calluna</i>	0.71	0.30	26, 56, 39
	Fynbos	0.61	0.16	70, 44
Toutes les terres arbustives		0.72	0.25	
Savanes arborées (feux de début de saison sèche)*	Savane arborée	0.22	-	28
	Savane-prairie	0.73	-	57
	Autres savanes arborées	0.37	0.19	22, 29
Toutes les savanes arborées (feux de début de saison sèche)		0.40	0.22	
Savanes arborées (feux de mi-saison/fin de saison sèche)*	Savane arborée	0.72	-	66, 57
	Savane-prairie	0.82	0.07	57, 6, 51
	Savane tropicale	0.73	0.04	52, 73, 66, 12
	Autres savanes arborées	0.68	0.19	22, 29, 44, 31, 57
Toutes les savanes arborées (feux de mi-saison/fin de saison sèche)*		0.74	0.14	
Savanes-prairies/Pâturages (feux de début de saison sèche)*	Prairies tropicales/sous-tropicales	0.74	-	28
	Prairies	-	-	48
Toutes les savanes-prairies (feux de début de saison sèche)*		0.74	-	
Savanes-prairies/Pâturages (feux de mi-saison/fin de saison sèche)*	Prairies tropicales/sous-tropicales	0.92	0.11	44, 73, 66, 12, 57
	Pâturage tropical <sup>†</sup>	0.35	0.21	4, 23, 38, 66
	Savane	0.86	0.12	53, 5, 56, 42, 50, 6, 45, 13, 44, 65, 66
Toutes les savanes-prairies (feux de mi-saison/fin de saison sèche)*		0.77	0.26	
Autres types de végétation	Tourbière	0.50	-	20, 44
	Terres humides tropicales	0.70	-	44
Résidus agricoles (brûlés de champs après récoltes)	Résidus de blé	0.90	-	see Note b
	Résidus de maïs	0.80	-	see Note b
	Résidus de riz	0.80	-	see Note b
	Cane à sucre <sup>‡</sup>	0.80	-	see Note b

### 2.2.2. Emissions dues au chaulage (CRF 3C2)

Cette sous-catégorie n'est pas applicable en Tunisie, le chaulage n'étant pas pratiqué.

### 2.2.3. Emissions de CO<sub>2</sub> dues à l'application d'urée (CRF 3C3)

La Tunisie a utilisé environ 9300 tonnes d'urée en 2010. Cet usage est assez exceptionnel, les consommations des années précédentes étant quasi-nulles.

Le calcul des émissions s'est fait en appliquant l'approche de niveau 1, à travers l'équation 11.13 du GIEC.

**EQUATION 11.13**  
**ÉMISSIONS ANNUELLES DE CO<sub>2</sub>-C DUES A L'APPLICATION D'UREE**

$$CO_2-C \text{ Emission} = M \bullet FE$$

Où :

Émissions de CO<sub>2</sub>-C = émissions annuelles de C dues à l'application d'urée, tonnes C an<sup>-1</sup>

M = quantité annuelle d'engrais à l'urée, tonnes d'urée an<sup>-1</sup>

FE = facteur d'émissions, tonnes de C (tonne d'urée)<sup>-1</sup>

Cette équation consiste simplement à multiplier la quantité d'urée utilisée par un facteur d'émission 0,2 t-C/t d'urée tel que préconisé par le GIEC.

Il faut noter que l'urée utilisée en Tunisie contient également une fraction d'azote (46%). Le calcul des émissions de N<sub>2</sub>O s'est fait selon la même démarche utilisée pour les autres engrais synthétiques (Ammonitre et DAP) et les résultats ont été incorporés sous la rubrique CRF 3C4 (cf. ci-dessous)

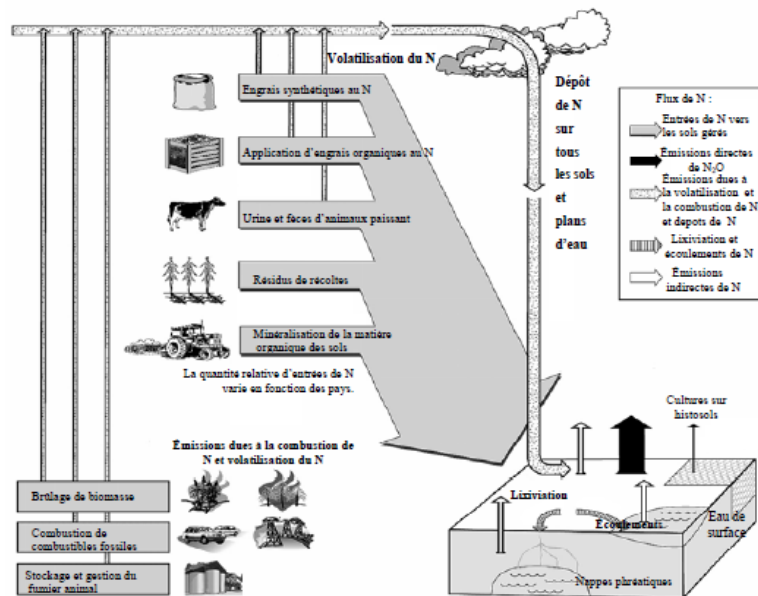
#### 2.2.4. Emissions directes et indirectes de N<sub>2</sub>O imputables aux sols gérés (CRF 3C4 et 3C5)

Dans la plupart des sols, l'accroissement de la disponibilité en azote N fait augmenter les taux de nitrification et de dénitrification, entraînant ainsi la génération de N<sub>2</sub>O. Les augmentations de la disponibilité de N peuvent découler d'ajouts anthropiques de N ou de changements d'affectation des terres et/ou de pratiques de gestion, qui minéralisent le N organique des sols.

Il faut rappeler que les principales voies prises par le N<sub>2</sub>O ; émis directement (CRF 3C4) ou indirectement (CRF 3C5 et 3C6), sont illustrées à la figure 11.1 du guide du GIEC ci-après.

**Figure 11.1** Figure schématique d'illustration des sources et chemins pris par le N entraînant des émissions directes et indirectes de N<sub>2</sub>O depuis les sols et l'eau

Note : Les sources de N appliqué ou déposé sur les sols sont représentées par des flèches, à gauche du graphique. Les chemins pris par les émissions sont également représentés par des flèches, et incluent les divers chemins de la volatilisation du NH<sub>3</sub> et du NO<sub>x</sub> de sources agricoles et non agricoles ; le dépôt de ces gaz et de leurs produits NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, et les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O en découlant sont également représentées. « Application d'engrais organiques au N » signifie le fumier animal, tout compost, les boues d'égouts, les déchets d'abattoir étuvés, etc. Les « résidus de récoltes » incluent les résidus aériens et souterrains pour toutes les cultures (fixatrices d'azote ou non), les cultures de fourrages vivaces et les pâturages après renouvellement. En bas à droite se trouve une reproduction des sections représentatives des terres gérées ; les cultures sur histosols y sont représentées.



Les sources de N suivantes ont été incluses dans les calculs des émissions de N<sub>2</sub>O des sols gérés en Tunisie:

- Engrais synthétiques contenant de l'azote N ;
- Azote organique appliqué comme engrais (ex. fumier animal, compost, boues de stations d'épuration, etc.)
- Azote de l'urine et des fèces déposé sur les pâturages, les parcours et les parcelles par les animaux paissant
- Azote des résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris de cultures fixatrices d'azote et de fourrages

Le guide du GIEC a aussi recommandé l'inclusion des sources de N suivantes, si les données seraient disponibles pour faire de tels calculs. Comme ce n'était pas le cas pour la Tunisie, ces sources n'ont pas été couvertes dans le présent inventaire.

- Minéralisation de l'azote associé aux pertes de matière organique des sols en raison de changements d'affectation des terres ou de gestion des sols minéraux
- Drainage/gestion des sols organiques.



**EQUATION 11.1**  
**ÉMISSIONS DIRECTES DE N<sub>2</sub>O DES SOLS GÉRÉS (NIVEAU 1)**

$$N_2O_{Directes} - N = N_2O - N_{N_{Entrées}} + N_2O - N_{SO} + N_2O - N_{PPP}$$

Où :

$$N_2O - N_{N_{Entrées}} = \left[ \left[ (F_{SN} + F_{ON} + F_{RR} + F_{MOS}) \cdot FE_1 \right] + \left[ (F_{SN} + F_{ON} + F_{RR} + F_{MOS})_{RI} \cdot FE_{1RI} \right] \right]$$

$$N_2O - N_{SO} = \left[ \left( F_{SO,CP,Temp} \cdot FE_{2CP,Temp} \right) + \left( F_{SO,CP,Trop} \cdot FE_{2CP,Trop} \right) + \left( F_{SO,F,Temp,RN} \cdot FE_{2F,Temp,RN} \right) + \left( F_{SO,F,Temp,PN} \cdot FE_{2F,Temp,PN} \right) + \left( F_{SO,F,Trop} \cdot FE_{2F,Trop} \right) \right]$$

$$N_2O - N_{PPP} = \left[ \left( F_{PPP,BVS} \cdot FE_{3PPP,BVS} \right) + \left( F_{PPP,MA} \cdot FE_{3PPP,MA} \right) \right]$$

Où :

$N_2O_{Directes} - N$  = émissions annuelles directes de N<sub>2</sub>O–N imputables aux sols gérés, kg N<sub>2</sub>O–N an<sup>-1</sup>

$N_2O - N_{N_{Entrées}}$  = émissions annuelles directes de N<sub>2</sub>O–N imputables aux entrées de N sur les sols gérés, kg N<sub>2</sub>O–N an<sup>-1</sup>

$N_2O - N_{SO}$  = émissions annuelles directes de N<sub>2</sub>O–N imputables aux sols organiques gérés, kg N<sub>2</sub>O–N an<sup>-1</sup>

$N_2O - N_{PPP}$  = émissions annuelles directes de N<sub>2</sub>O–N imputables aux entrées d'urine et de fèces sur les sols de paissance, kg N<sub>2</sub>O–N an<sup>-1</sup>

$F_{SN}$  = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliqué aux sols, kg N an<sup>-1</sup>

$F_{ON}$  = quantité annuelle de fumier animal, compost, boues d'égouts et autres ajouts de N organiques appliquée aux sols (Note : Si les boues d'égouts sont incluses, contre-vérifier avec le secteur *Déchets* afin de ne pas double compter les émissions de N<sub>2</sub>O dues au N des boues d'égout), kg N an<sup>-1</sup>

$F_{RR}$  = quantité annuelle de N retourné aux sols dans les résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris les cultures fixatrices d'azote et dues au renouvellement des fourrages/pâturages, kg N an<sup>-1</sup>

$F_{MOS}$  = quantité annuelle de N minéralisé dans les sols minéraux associée aux pertes de C des sols de la matière organique des sols en raison de changements d'affectation des terres ou de gestion, kg N an<sup>-1</sup>

$F_{SO}$  = superficie annuelle de sols organiques drainés/gérés, ha (Note : les indices inférieurs CP, F, Temp, Trop, RN et PN se réfèrent à terres cultivées et prairies, terres forestières, tempérée, tropicale, riche en nutriments et pauvre en nutriments, respectivement)

$F_{PPP}$  = quantité annuelle de N d'urine et de fèces déposée par les animaux paissant sur des pâturages,

parcours et parcelles, kg N an<sup>-1</sup> (Note : les indices inférieurs BVS et MA se réfèrent aux bovins, volaille et suidés, et moutons et autres animaux, respectivement)

$FE_1$  = facteur d'émissions des émissions de N<sub>2</sub>O dues aux entrées de N, kg N<sub>2</sub>O–N (kg entrées de N)<sup>-1</sup> (tableau 11.1)

$FE_{1RI}$  représente le facteur d'émissions des émissions de N<sub>2</sub>O dues aux entrées de N sur le riz inondé, kg N<sub>2</sub>O–N (kg entrées de N)<sup>-1</sup> (tableau 11.1)<sup>5</sup>

$FE_2$  = facteur d'émissions des émissions de N<sub>2</sub>O dues sols organiques drainés/gérés, kg N<sub>2</sub>O–N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> (tableau 11.1) (Note : les indices inférieurs CP, F, Temp, Trop, RN et PN se réfèrent à terres cultivées et prairies, terres forestières, tempérée, tropicale, riche en nutriments et pauvre en nutriments, respectivement)

$FE_{3PPP}$  = facteur d'émissions des émissions de N<sub>2</sub>O dues au N de l'urine et des fèces déposé sur les pâturages, parcours et parcelles par les animaux paissant, kg N<sub>2</sub>O–N (kg entrées de N)<sup>-1</sup>; (tableau 11.1) (Note : les indices inférieurs BVS et MA se réfèrent aux bovins, volaille et suidés, et moutons et autres animaux, respectivement)

### Emissions directes de N<sub>2</sub>O imputables aux sols gérés

Dans l'approche la plus simple (Niveau 1) de calcul des émissions directes de N<sub>2</sub>O, les émissions de N<sub>2</sub>O des sols gérés sont estimées en passant par l'équation générique 11.1, ci-après.

Pour passer aux méthodologies de niveau 2, il faudrait disposer d'une désagrégation plus fine des apports d'azote aux sols, selon : (i) les différents types de couvertures terrestres, (ii) les conditions climatiques, (iii) les pratiques de gestion, (iv) La latence possible des émissions directes du N de résidus de récoltes.<sup>1</sup>

L'approche de niveau 2 doit aussi reposer sur des données réelles suffisamment fiables (ex. usages de l'azote par région et par type de sol, fréquence et saisonnalité des apports). Ces données ne sont pas disponibles avec la fiabilité requise, et c'est donc l'approche de niveau 1 qui a été adoptée pour le cas tunisien. Toutefois, on s'est attaché à utiliser des données tunisiennes pour les toutes les données d'activité, et pour celles relatives aux caractéristiques des productions agricoles entraînant des apports d'azote aux sols (ex. rendements de production, pratique des extractions de résidus, hauteur des chaumes, pâturage des animaux domestiques post-récoltes, etc.).

### Engrais synthétiques contenant de l'azote N

Les quantités d'engrais synthétiques utilisées (Ammonitre, DAP, et urée) sont fournies par le rapport Annuel de la Direction Générale de la Production Agricole (DFPA).

Quantité appliquées (t)	2010
Ammonitre	169 582
DAP	68 885
Urée	9 324

Les teneurs en azote proviennent du Groupe Chimique Tunisien, unique fournisseur de ces engrais.

Teneur en N (%)	
Ammonitre	33,5%
DAP	18,0%
Urée	46,0%

Les applications annuelles d'azote aux sols, désignées par le terme  $F_{SN}$  dans l'équation 11.1 sont calculées par la multiplication de ces deux termes.

$F_{SN}$ (tonnes)	2010
Ammonitre	56 810
DAP	12 399
Urée	4 289
<b>TOTAL</b>	<b>73 498</b>

<sup>1</sup> Ceci aurait nécessité l'utilisation d'un modèle pluriannuel, alors que la méthode de niveau 1 attribue les émissions à l'année au cours de laquelle on retourne les résidus aux sols.



Pour déterminer les émissions directes de N<sub>2</sub>O-N dues à l'application d'engrais synthétiques, il faut ensuite multiplier F<sub>SN</sub> par le facteur d'émission FE<sub>1</sub>, qui reflète les émissions de N<sub>2</sub>O découlant de l'application de l'azote aux sols. Les facteurs d'émissions par défaut suggérés par le GIEC sont présentés dans le tableau 11.1.

Ainsi, les émissions de N<sub>2</sub>O-N pour ce cas s'élevaient à 73.498 x 0,01 = 734,98 tonnes. On multipliera ce chiffre par le rapport des masses molaires (44/28), pour déduire les émissions de N<sub>2</sub>O, qui s'élèvent pour ce cas précis à 1155 tonnes.

Facteur d'émission	Valeur par défaut	Plage d'incertitude
FE <sub>1</sub> pour les ajouts de N par les engrais minéraux, les amendements organiques et les résidus de récoltes, et N minéralisé des sols minéraux en raison de pertes de carbone des sols [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0,01	0,003 – 0,03
FE <sub>1RI</sub> pour les rizières inondées [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0,003	0,000 – 0,006
FE <sub>2CP, Temp</sub> pour les sols de cultures organiques tempérées et de prairies (kg N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> )	8	2 - 24
FE <sub>2CP, Trop</sub> pour les sols de cultures organiques tropicales et de prairies (kg N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> )	16	5 - 48
FE <sub>2F, Temp Org R</sub> pour les sols de forêts organiques tempérées et boréales riches en nutriments (kg N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> )	0,6	0,16 – 2,4
FE <sub>2F, Temp Org P</sub> pour les sols de forêts organiques tempérées et boréales pauvres en nutriments (kg N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> )	0,1	0,02 – 0,3
FE <sub>2F, Trop</sub> pour les sols de forêts organiques tropicales (kg N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> )	8	0 - 24
FE <sub>3PPP, BV5</sub> pour les bovins (laitiers, non laitiers et buffles), la volaille et les suidés [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0,02	0,007 – 0,06
FE <sub>3PPP, MA</sub> pour les mouton et « autres animaux » [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0,01	0,003 – 0,03
Sources :		
FE <sub>1</sub> : Bouwman <i>et al.</i> 2002a,b ; Stehfest & Bouwman, 2006 ; Novoa & Tejeda, 2006 ; FE <sub>1RI</sub> : Akiyama <i>et al.</i> , 2005 ; FE <sub>2CP, Temp</sub> , FE <sub>2CP, Trop</sub> , FE <sub>2F, Trop</sub> : Klemetsson <i>et al.</i> , 1999, <i>Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques</i> , 2000 ; FE <sub>2F, Temp</sub> : Alm <i>et al.</i> , 1999 ; Laine <i>et al.</i> , 1996 ; Martikainen <i>et al.</i> , 1995 ; Minkinen <i>et al.</i> , 2002 ; Regina <i>et al.</i> , 1996 ; Klemetsson <i>et al.</i> , 2002 ; FE <sub>3, BV5</sub> , FE <sub>3, MA</sub> : de Klein, 2004.		

### Azote organique appliqué comme engrais

Pour le cas tunisien, il s'agit des applications comme engrais des boues de stations d'épuration, des margines et du fumier animal. Des applications de composts comme engrais existent aussi en Tunisie, mais les quantités sont inconnues.

En ce qui concerne les boues de stations d'épuration, des applications pilotes, à raison de 1830 tonnes, ont été faites en 2010. Les teneurs en azote des boues (2%) sont fournies sur avis d'expert de la DGPA, et établies sur la base de cette expérience pilote.

S'agissant des margines, des applications pilotes ont aussi été réalisées en 2010. On a pu bénéficier d'un avis d'expert DGPA directement de la quantité d'azote (et non pas des quantités de margines) appliquée aux sols dans le cadre de cette opération pilote.

Les quantités d'azote du fumier animal appliquées sont fournies par la FM «ELEVAGE» (cf. section élevage dans le présent document), en se basant sur les quantités d'azote contenues dans les excréments animales produites dans les étables, et qui sont supposées être appliquées en totalité comme engrais. Nous disposons donc directement des quantités d'azote d'origine animale appliquées à partir de la FM Elevage.

Les applications annuelles d'azote aux sols, désignées par le terme FON dans l'équation 11.1 se présentent donc comme suit :

<b>F<sub>ON</sub> (tonnes)</b>	<b>2010</b>
Boues des stations d'épurations	37
Margines	51
Fumier animal	70 134
<b>Total</b>	<b>70 222</b>

Pour déterminer les émissions directes de N<sub>2</sub>O-N dues à l'application d'engrais organiques, il faut toujours multiplier F<sub>SN</sub> par le même facteur d'émission FE1 (0,01 tonnes de N<sub>2</sub>O-N/t N) par défaut suggéré par le GIEC dans le tableau 11.1.

Ainsi, les émissions de N<sub>2</sub>O-N pour ce cas s'élèveraient à 70.222 x 0,01 = 702,22 tonnes. On multipliera ce chiffre par le rapport des masses molaires (44/28), pour déduire les émissions de N<sub>2</sub>O, qui s'élèvent pour ce cas précis à 1103 tonnes.

### **Azote de l'urine et des fèces déposées sur les pâturages, les parcours et les parcelles par les animaux paissant**

Les quantités d'azote déposées sur les sols par les animaux domestiques paissant sont reprises directement à partir de la FM «ELEVAGE». Les calculs faits par cette FM séparent déjà les quantités d'azote contenues dans les excréments animales produites en étable (et donc appliquées comme engrais), de celles intervenant sur les pâturages.

Par ailleurs, les quantités d'azote générées (F<sub>PPP</sub>) sont réparties selon les animaux (bovins d'un côté, et ovins et autres animaux d'un autre), du fait que les facteurs d'émission FE<sub>3PPP</sub> sont différents (cf. tableau 11.1 du GIEC).

	<b>F<sub>PPP</sub> (tonnes)</b>	<b>FE<sub>3PPP</sub> (tonnes)</b>
<b>Bovins</b>	10 612	0,02
<b>Ovins et autres animaux</b>	85 718	0,01

Pour déterminer les émissions directes de N<sub>2</sub>O-N dues aux déjections sur les pâturages, il faut donc multiplier F<sub>PPP</sub> par les facteurs d'émission FE<sub>3PPP</sub> par défaut suggérés par le GIEC.

Ainsi, les émissions de N<sub>2</sub>O-N pour ce cas s'élèveraient à 10.612 x 0,02 + 85.718 x 0,01 = 1069 tonnes. On multipliera ce chiffre par le rapport des masses molaires (44/28), pour déduire les émissions de N<sub>2</sub>O, qui s'élèvent pour ce cas précis à 1681 tonnes.

### **Azote des résidus de récoltes**

Les résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris les cultures fixatrices d'azote, retournés annuellement aux sols entraînent des émissions de N<sub>2</sub>O. Des émissions de N<sub>2</sub>O résultent également du N des fourrages fixateurs et non fixateurs de N minéralisé lors du renouvellement du fourrage ou des pâturages. L'estimation de la quantité d'azote retournée dans les sols est déduite à partir des statistiques de rendement agricole et des facteurs par défaut (i) des rapports résidus aériens et souterrains/rendement et (ii) de la teneur en N des résidus.

En outre, la méthode tient compte de l'impact du brûlage des résidus ou autre méthode d'extraction des résidus. Puisque les rapports rendement/résidus, les temps de renouvellement et la teneur en N varient en fonction des différents types de cultures, il faudra faire des calculs séparés pour les principaux types de cultures ; ensuite on additionnera les valeurs de N de tous les types de cultures.

L'équation 11.6 permet d'estimer le N des résidus de récoltes et du renouvellement des fourrages/pâturages en passant par l'approche de niveau 1.

Le terme FRR calcule donc la quantité de N dans les résidus de récoltes sujette à des émissions de N<sub>2</sub>O.

**ÉQUATION 11.6**  
**N DES RESIDUS DE RECOLTES ET DU RENOUELEMENT DES FOURRAGES/PATURAGES (NIVEAU 1)**

$$F_{RR} = \sum_T \left\{ \left[ R_{AE(T)} \cdot N_{AE(T)} \cdot (1 - \text{Frac}_{\text{Extraction}(T)}) + R_{ST(T)} \cdot N_{ST(T)} \right] \cdot \left( \text{Récolte}_{(T)} \cdot (\text{Superficie}_{(T)} - \text{Superficie brûlée}_{(T)} \cdot C_f) \cdot \text{Frac}_{\text{Renouv}(T)} \right) \right\}$$

Où :

$F_{RR}$  = quantité annuelle de N retourné aux sols depuis les résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris les cultures fixatrices d'azote, et due au renouvellement des fourrages/pâturages, kg N an<sup>-1</sup>

Récolte<sub>(T)</sub> = rendement en matière sèche récoltée annuellement pour la culture T, kg m.s. ha<sup>-1</sup>

Superficie<sub>(T)</sub> = superficie totale annuelle récoltée pour la culture T, ha an<sup>-1</sup>

Superficie brûlée<sub>(T)</sub> = superficie annuelle de culture T brûlée, ha an<sup>-1</sup>

$C_f$  = facteur de combustion (non dimensionnel) (voir le tableau 2.6 du chapitre 2)

$\text{Frac}_{\text{Renouv}(T)}$  = fraction de superficie totale de culture T renouvelée annuellement<sup>15</sup>. Dans les pays où les pâturages sont renouvelés en moyenne toutes les X années,  $\text{Frac}_{\text{Renouv}} = 1/X$ . Pour les cultures annuelles,  $\text{Frac}_{\text{Renouv}} = 1$

$R_{AE(T)}$  = rapport entre la matière sèche des résidus aériens ( $A\dot{E}_{MS(T)}$ ) et le rendement de la récolte T ( $R_{\text{Récolte}(T)}$ ), kg m.s. (kg m.s.)<sup>-1</sup>,  
 =  $A\dot{E}_{MS(T)} \cdot 1000 / R_{\text{Récolte}(T)}$  (en calculant  $A\dot{E}_{MS(T)}$  à l'aide des informations du tableau 11.2)

$N_{AE(T)}$  = teneur en N des résidus aériens de la récolte T, kg N (kg m.s.)<sup>-1</sup>, (tableau 11.2)

$\text{Frac}_{\text{Extraction}(T)}$  = fraction de résidus aériens de la récolte T extraite annuellement pour l'alimentation, la litière et la construction, kg N (kg récoltes-N)<sup>-1</sup>. Pour ces données, il faudra consulter les experts du pays. Si les données de  $\text{Frac}_{\text{Extraction}}$  ne sont pas disponibles, supposer qu'il n'y a pas d'extraction.

$R_{ST(T)}$  = rapport entre les résidus souterrains et le rendement de récolte de la culture T, kg m.s. (kg m.s.)<sup>-1</sup>.  
 Si l'on ne dispose pas d'autres données,  $R_{ST(T)}$  pourra être calculé en multipliant  $R_{ST-BIO}$  (tableau 11.2) par le rapport entre la biomasse aérienne totale et le rendement de récolte (=  $[(A\dot{E}_{MS(T)} \cdot 1000 + R_{\text{Récolte}(T)}) / R_{\text{Récolte}(T)}]$ , (en calculant aussi  $A\dot{E}_{MS(T)}$  à partir des informations tirées du tableau 11.2).

$N_{ST(T)}$  = teneur en N des résidus souterrains de la récolte T, kg N (kg m.s.)<sup>-1</sup>, (tableau 11.2)

T = type de culture ou de fourrage

La démarche utilisée en Tunisie a bien séparé les différents types de cultures (Blé, orge, Pois et Pois chiches, Fèves et Fèveroles, Luzerne et Pomme de terre), dont les productions de résidus et les comportements de retour d'azote vers les sols sont différents. Il a été aussi tenu compte des résidus brûlés, et qui sont donc soustraits des quantités d'azote supposées retourner sur les sols. Il faut rappeler que sur avis d'expert, le taux de brûlage des résidus de récoltes a été estimé à 3%.

L'équation 11.6 a été suivie à la lettre, en s'attachant à utiliser au maximum les données spécifiques tunisiennes. On peut notamment citer la production nationale de l'année 2010 pour les 6 groupes de produits agricoles, ainsi que le nombre d'ha de chacun de ces groupes. Ces deux paramètres ont permis d'estimer les rendements par hectare puis de les convertir en matière sèche, en utilisant les facteurs par défaut de l'IPCC. Grâce au chiffre calculé, il a été possible d'estimer le terme AEMS (t/ha), qui représente la matière sèche des résidus aériens. A partir de ce dernier terme, il a été aussi possible d'estimer la quantité de matière sèche des résidus souterrains à partir du rapport résidus souterrains/biomasse aérienne (RST-BIO) ; laquelle biomasse aérienne inclut la production de grains et résidus.

Il faut rappeler que le terme  $FracRenouv(T)$  = fraction de superficie totale de culture T renouvelée annuellement a été estimé selon le contexte de chaque culture en Tunisie. Par exemple la luzerne est renouvelée tous les 5 ans ; c'est là que les résidus sont susceptibles de générer de l'azote en retournant aux sols.

Le calcul de l'apport N des résidus est effectué en se basant sur les teneurs en N des résidus aériens ( $NAÉ$ ), tels que listés par le tableau 11.2 du GIEC.

Le terme FRR est ensuite calculé à partir de l'ensemble des termes calculés précédemment. Les résultats de ces calculs sont présentés dans le tableau suivant :

$F_{RR}$ (tonnes)	2010	Partie aérienne	Partie racinaire
Blé	5 721	1 748	3 973
Orge	1 935	357	1 578
Pois et Pois chiches	346	262	84
Fèves et Fèveroles	906	689	217
Luzerne	566	303	263
Pomme de terre	511	0	0
<b>Total</b>	<b>9 985</b>		

Pour déterminer les émissions directes de  $N_2O-N$  dues aux résidus de récoltes, il faut donc multiplier FRR par les facteurs d'émission FE1 par défaut suggérés par le GIEC (0,01).

Ainsi, les émissions de  $N_2O-N$  pour ce cas s'élèveraient à  $9.985 \times 0,01 = 99,9$  tonnes. On multipliera ce chiffre par le rapport des masses molaires (44/28), pour déduire les émissions de  $N_2O$ , qui s'élèvent pour ce cas précis à 157 tonnes.

**TABLEAU 11.2**  
FACTEURS PAR DEFAUT D'ESTIMATION DU N AJOUTE AUX SOLS PAR LES RESIDUS DE RECOLTES<sup>a</sup>

Récolte	Fraction de matière sèche du produit récolté (SÈCHE)	Matière sèche des résidus aériens $AÉ_{MS(T)}$ (Mg/ha) :				Teneur en N des résidus aériens ( $N_{AE}$ )	Rapport résidus souterrains/bio masse aérienne ( $R_{ST-BIO}$ )	Teneur en N des résidus souterrains ( $N_{ST}$ )	
		Pente	$\pm 2$ d.t. en tant que % de la moyenne	Intercept	$\pm 2$ d.t. en tant que % de la moyenne				$R^2$ adj.
<i>Principaux types de récoltes</i>									
Céréales	0,88	1,09	$\pm 2\%$	0,88	$\pm 6\%$	0,65	0,006	0,22 ( $\pm 16\%$ )	0,009
Haricots & légumineuses <sup>b</sup>	0,91	1,13	$\pm 19\%$	0,85	$\pm 56\%$	0,28	0,008	0,19 ( $\pm 45\%$ )	0,008
Tubercules <sup>c</sup>	0,22	0,10	$\pm 69\%$	1,06	$\pm 70\%$	0,18	0,019	0,20 ( $\pm 50\%$ )	0,014
Racines, autres <sup>d</sup>	0,94	1,07	$\pm 19\%$	1,54	$\pm 41\%$	0,63	0,016	0,20 ( $\pm 50\%$ )	0,014
Fourrages fixateurs d'azote	0,90	0,3	$\pm 50\%$ par défaut	0	-	-	0,027	0,40 ( $\pm 50\%$ )	0,022
Fourrages non fixateurs d'azote	0,90	0,3	$\pm 50\%$ par défaut	0	-	-	0,015	0,54 ( $\pm 50\%$ )	0,012
Herbacées vivaces	0,90	0,3	$\pm 50\%$ par défaut	0	-	-	0,015	0,80 ( $\pm 50\%$ ) <sup>e</sup>	0,012
Mélanges herbes-trèfle	0,90	0,3	$\pm 50\%$ par défaut	0	-	-	0,025	0,80 ( $\pm 50\%$ ) <sup>e</sup>	0,016 <sup>f</sup>
<i>Récoltes individuelles</i>									
Maïs	0,87	1,03	$\pm 3\%$	0,61	$\pm 19\%$	0,76	0,006	0,22 ( $\pm 26\%$ )	0,007
Blé	0,89	1,51	$\pm 3\%$	0,52	$\pm 17\%$	0,68	0,006	0,24 ( $\pm 32\%$ )	0,009
Blé d'hiver	0,89	1,61	$\pm 3\%$	0,40	$\pm 25\%$	0,67	0,006	0,23 ( $\pm 41\%$ )	0,009

**TABLEAU 11.2 (SUITE)**  
**FACTEURS PAR DEFAUT D'ESTIMATION DU N AJOUTE AUX SOLS PAR LES RÉSIDUS DE RÉCOLTES \***

Récolte	Fraction de matière sèche du produit récolté (SÈCHE)	Matière sèche des résidus aériens $A\dot{E}_{MS(T)}$ (Mg/ha) :					Teneur en N des résidus aériens ( $N_{AE}$ )	Rapport résidus souterrains/bio masse aérienne ( $R_{ST-BIO}$ )	Teneur en N des résidus souterrains ( $N_{ST}$ )
		Pente	$\pm 2$ d.t. en tant que % de la moyenne	Intercept	$\pm 2$ d.t. en tant que % de la moyenne	$R^2$ adj.			
Blé de printemps	0,89	1,29	$\pm 5\%$	0,75	$\pm 26\%$	0,76	0,006	0,28 ( $\pm 26\%$ )	0,009
Riz	0,89	0,95	$\pm 19\%$	2,46	$\pm 41\%$	0,47	0,007	0,16 ( $\pm 35\%$ )	SO
Orge	0,89	0,98	$\pm 8\%$	0,59	$\pm 41\%$	0,68	0,007	0,22 ( $\pm 33\%$ )	0,014
Avoine	0,89	0,91	$\pm 5\%$	0,89	$\pm 8\%$	0,45	0,007	0,25 ( $\pm 120\%$ )	0,008
Millet	0,90	1,43	$\pm 18\%$	0,14	$\pm 308\%$	0,50	0,007	SO	SO
Sorgho	0,89	0,88	$\pm 13\%$	1,33	$\pm 27\%$	0,36	0,007	SO	0,006
Seigle <sup>e</sup>	0,88	1,09	$\pm 50\%$ par défaut	0,88	$\pm 50\%$ par défaut	-	0,005	SO	0,011
Soja <sup>f</sup>	0,91	0,93	$\pm 31\%$	1,35	$\pm 49\%$	0,16	0,008	0,19 ( $\pm 45\%$ )	0,008
Pois secs <sup>g</sup>	0,90	0,36	$\pm 100\%$	0,68	$\pm 47\%$	0,15	0,01	SO	0,01
Pomme de terre <sup>h</sup>	0,22	0,10	$\pm 69\%$	1,06	$\pm 70\%$	0,18	0,019	0,20 ( $\pm 50\%$ ) <sup>m</sup>	0,014
Arachide gousse <sup>i</sup> (avec)	0,94	1,07	$\pm 19\%$	1,54	$\pm 41\%$	0,63	0,016	SO	SO
Luzerne <sup>j</sup>	0,90	0,29 <sup>k</sup>	$\pm 31\%$	0	-	-	0,027	0,40 ( $\pm 50\%$ ) <sup>n</sup>	0,019
Foin sans légumineuses <sup>l</sup>	0,90	0,18	$\pm 50\%$ par défaut	0	-	-	0,15	0,54 ( $\pm 50\%$ ) <sup>n</sup>	0,012

### Emissions indirectes de N<sub>2</sub>O imputables aux sols gérés (CRF 3C5)

Les émissions de N<sub>2</sub>O des sols gérés proviennent également de voies indirectes (cf. illustration à la section 11.2 ci-dessus), suite à l'application d'engrais synthétiques et organiques au N et/ou par le dépôt d'urine et de fèces par les animaux paissant.

La première de ces voies est la volatilisation du N sous forme de NH<sub>3</sub> et d'oxydes de N (NO<sub>x</sub>), et le dépôt de ces gaz et de leurs produits NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sur les sols et la surface des lacs et autres plans d'eau.

La seconde voie prise par le N<sub>2</sub>O est représentée par la lixiviation et les écoulements de N depuis des terres à partir d'ajouts d'engrais synthétiques et organiques, de résidus de récoltes, de la minéralisation du N associée aux pertes de C des sols dans les sols organiques drainés/gérés et minéraux en raison de changements d'affectation des terres ou de pratiques de gestion, et du dépôt d'urine et de fèces par les animaux paissant. Une partie du N inorganique se trouvant dans ou sur les sols, principalement sous forme de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, peut éviter tout mécanisme de rétention biologique du système des sols/de la végétation et être transporté par des flux aquatiques aériens (écoulements) et/ou des flux dans les macropores des sols ou des tubes de drainage. Lorsqu'il y a trop de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les sols par rapport aux besoins biologiques, par exemple sur les lieux où urinent les bovins, l'excédent est lessivé par le profil du sol. Les processus de nitrification et de dénitrification transforment une partie du NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en N<sub>2</sub>O. Ces processus peuvent avoir lieu dans les nappes phréatiques sous les terres où on a appliqué le N, dans les zones riveraines recevant de l'eau écoulée ou drainée, ou dans les fossés, cours d'eau, fleuves et estuaires (et leurs sédiments) vers lesquels coule l'eau de drainage des terres.

Toutes ces émissions indirectes de N<sub>2</sub>O des sols gérés provenant des entrées agricoles sont donc prises en compte par la méthodologie du GIEC, à partir du moment où ces entrées peuvent être estimées avec suffisamment de fiabilité, ce qui a été possible pour le cas de la Tunisie. Les calculs ont donc concerné les entrées agricoles de N suivantes :

- Engrais synthétiques au N ( $F_{SN}$ ) ;
- N organique appliqué comme engrais ( $F_{ON}$ ) ;
- N de l'urine et des fèces déposé sur les pâturages, les parcours et les parcelles par les animaux paissant ( $F_{PPP}$ ) ;
- N des résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris de cultures fixatrices d'azote et du renouvellement de fourrages/pâturages retourné aux sols ( $F_{RR}$ ).

### Emissions indirectes liées à la volatilisation

Le calcul des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la volatilisation et dues aux engrais synthétiques, organiques et au fumier déposé sur les parcours est réalisé grâce à l'équation du GIEC 11.9 du GIEC.

#### ÉQUATION 11.9

N<sub>2</sub>O DU AU DEPOT ATMOSPHERIQUE DE N VOLATILISE DEPUIS DES SOLS GERES (NIVEAU 1)

$$N_2O_{(DAT)-N} = [(F_{SN} \cdot Frac_{GAZE}) + ((F_{ON} + F_{PPP}) \cdot Frac_{GAZM})] \cdot FE_4$$

Où :

$N_2O_{(DAT)-N}$  = quantité annuelle de N<sub>2</sub>O–N produite par le dépôt atmosphérique de N volatilisé depuis des sols gérés, kg N<sub>2</sub>O–N an<sup>-1</sup>

$F_{SN}$  = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliqué aux sols, kg N an<sup>-1</sup>

$Frac_{GAZE}$  = fraction de N d'engrais synthétique volatilisé sous forme de NH<sub>3</sub> et de NO<sub>x</sub>, kg N volatilisé (kg de N appliqué)<sup>-1</sup> (tableau 11.3)

$F_{ON}$  = quantité annuelle de fumier animal géré, compost, boues d'épurgues et autres ajouts de N organiques appliqués aux sols, kg N an<sup>-1</sup>

$F_{PPP}$  = quantité annuelle de N d'urine et de fèces déposée par des animaux paissant sur des pâturages, parcours et parcelles, kg N an<sup>-1</sup>

$Frac_{GAZM}$  = fraction de matériaux d'engrais au N organiques appliqués ( $F_{ON}$ ) et de N d'urine et de fèces déposé par les animaux paissant ( $F_{PPP}$ ) volatilisé sous forme de NH<sub>3</sub> et de NO<sub>x</sub>, kg N volatilisé (kg de N appliqué ou déposé)<sup>-1</sup> (tableau 11.3)

$FE_4$  = facteur d'émissions des émissions de N<sub>2</sub>O dues au dépôt atmosphérique de N sur les sols et les surfaces aquatiques, [kg N–N<sub>2</sub>O (kg NH<sub>3</sub>–N + NO<sub>x</sub>–N volatilisé)<sup>-1</sup>] (tableau 11.3)

La fraction de N des engrais synthétiques ( $Frac_{GAZE}$ ), organiques et du fumier et fèces ( $Frac_{GAZM}$ ) déposés sur les parcours et volatilisée sous forme de NH<sub>3</sub> et NO<sub>x</sub> est fournie par le tableau 11.3 du GIEC 2006. Il en est de même pour le terme  $FE_4$ .



Facteur	Valeur par défaut	Plage d'incertitude
FE <sub>4</sub> [volatilisation et redépôt de N], kg N <sub>2</sub> O-N (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N volatilisé) <sup>1 22</sup>	0,010	0,002 - 0,05
FE <sub>5</sub> [lixiviation/écoulements], kg N <sub>2</sub> O-N (kg N lixiviation/écoulements) <sup>-1 23</sup>	0,0075	0,0005 - 0,025
Frac <sub>GAZE</sub> [volatilisation des engrais synthétiques], (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N) (kg N appliqué) <sup>-1</sup>	0,10	0,03 - 0,3
Frac <sub>GAZM</sub> [volatilisation de tous les engrais organiques au N appliqués, et des fèces et de l'urine déposées par les animaux paissant], (kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N) (kg N appliqué ou déposé) <sup>-1</sup>	0,20	0,05 - 0,5
Frac <sub>LIXI-(H)</sub> [pertes de N dues à la lixiviation/écoulements pour les régions où Σ (pluies en saison pluvieuse) - Σ (EP à la même époque) > capacité de rétention d'eau des sols, OU où l'on irrigue (sauf irrigation goutte à goutte)], kg N (kg ajouts de N ou dépôts par les animaux paissant) <sup>-1</sup>	0,30	0,1 - 0,8
Note : Le terme Frac <sub>LIXI</sub> précédemment utilisé a été modifié pour ne s'appliquer désormais qu'aux régions où les capacités en rétention d'eau sont excédées, en conséquence des précipitations et/ou de l'irrigation (sauf goutte à goutte), et lorsqu'il y a lixiviation/écoulements. Il est recréé sous la forme Frac <sub>LIXI-(H)</sub> . À la définition de Frac <sub>LIXI-(H)</sub> présentée ci-dessus, EP est l'évaporation potentielle, et les saisons des pluies peuvent être comprises comme les périodes où les précipitations > 0,5 * Pan Évaporation. (On peut trouver la définition de l'évaporation potentielle et de la panévaporation dans tout texte agricole ou météorologique de base). Pour d'autres régions, la valeur de Frac <sub>LIXI</sub> par défaut est considérée comme nulle.		

Les termes  $F_{SN}$ ,  $F_{ON}$  et  $F_{PPP}$  ont été déjà estimés dans le cadre des calculs des émissions directes de N<sub>2</sub>O. L'application de l'équation 11.9 permet donc d'estimer les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O, résumées comme suit :

	Termes $F_{SN}$ , $F_{ON}$ et $F_{PPP}$ (tonnes)	Termes $FRAC_{GAZE}$ et $FRAC_{GAZM}$	Quantité N volatilisé sous forme de NH <sub>3</sub> et NO <sub>x</sub> (tonnes N <sub>2</sub> O-N)	Résultats après application de FE <sub>4</sub> et masse molaire (tonnes N <sub>2</sub> O)
Engrais synthétiques	73 498	0,1	7 350	115
Engrais organiques	70 222	0,2	14 044	221
Fumier déposé sur les parcours	96 330	0,2	19 266	303
<b>TOTAL</b>			40 660	639

### **Emissions indirectes liées à la lixiviation**

Le calcul des émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la lixiviation dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements est effectué à l'aide de l'équation 11.10.

**ÉQUATION 11.10**

**N<sub>2</sub>O DU A LA LIXIVIATION/ÉCOULEMENTS DE N DE SOLS GÉRÉS DANS LES RÉGIONS OÙ EXISTENT LA LIXIVIATION ET LES ÉCOULEMENTS (NIVEAU I)**

$$N_2O_{(L)}-N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PPP} + F_{RR} + F_{MOS}) \cdot \text{Frac}_{LIXI-(H)} \cdot FE_5$$

Où :

$N_2O_{(L)}-N$  = quantité annuelle de N<sub>2</sub>O–N produit par la lixiviation et les écoulements après ajouts de N aux sols gérés dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N<sub>2</sub>O–N an<sup>-1</sup>

$F_{SN}$  = quantité annuelle de N d'engrais synthétique appliqué aux sols dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an<sup>-1</sup>

$F_{ON}$   $F_{ON}$  = quantité annuelle de fumier animal géré, compost, boues d'égouts et autres ajouts de N organiques appliqués aux sols dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an<sup>-1</sup>

$F_{PPP}$  = quantité annuelle de N d'urine et de fèces déposée par des animaux paissant dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an<sup>-1</sup> (tirée de l'équation 11.5)

$F_{RR}$  = quantité annuelle de N retourné aux sols dans les résidus de récoltes (aériens et souterrains), y compris les cultures fixatrices d'azote, et dû au renouvellement des fourrages/pâturages, dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an<sup>-1</sup>

$F_{MOS}$  = quantité annuelle de N minéralisé dans les sols minéraux, associé aux pertes de C des sols de la matière organique des sols en raison de changements d'affectation des terres ou de gestion dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, kg N an<sup>-1</sup> (tirée de l'équation 11.8)

$\text{Frac}_{LIXI-(H)}$  = fraction de tout le N minéralisé/ajouté aux sols gérés dans les régions où existent la lixiviation et les écoulements, et perdue par la lixiviation et les écoulements, kg N (kg d'ajouts de N)<sup>-1</sup> (tableau 11.3)

$FE_5$  = facteur d'émissions des émissions de N<sub>2</sub>O dues à la lixiviation et aux écoulements de N, kg N<sub>2</sub>O–N (kg de N lessivé et écoulé)<sup>-1</sup> (tableau 11.3)

Les termes  $F_{SN}$ ,  $F_{ON}$  et  $F_{PPP}$ ,  $F_{RR}$  ont été déjà estimés dans le cadre des calculs des émissions directes de N<sub>2</sub>O. Toutefois, le terme  $F_{RR}$  concerne la quantité de fumier déposée dans les zones concernées par la lixiviation, qui se situent dans le nord du pays. Il s'agissait donc de soustraire le fumier provenant des camelins et de 50% des ovins et des caprins qui pâturent au centre-sud du pays, pour appliquer correctement les calculs relatifs à la lixiviation.

L'application de l'équation 11.10 permet donc d'estimer les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O liées à la lixiviation, résumées comme suit.

	Termes $F_{SN}$ , $F_{ON}$ et $F_{PPP}$ et $F_{RR}$ (tonnes)	Termes $\text{FRAC}_{LIXI-(H)}$	Quantité N lixiviée (tonnes N <sub>2</sub> O–N)	Résultats après application de $FE_5$ et masse molaire (tonnes N <sub>2</sub> O)
<b>Engrais synthétiques</b>	73 498	0,3	22 049	260
<b>Engrais organiques</b>	70 222	0,3	21 067	248
<b>Fumier déposé sur les parcours</b>	53 832	0,3	16 150	190
<b>Résidus de récoltes</b>	9 985	0,3	2 995	35
<b>TOTAL</b>			62 261	734



### 2.2.5. Emissions indirectes de N<sub>2</sub>O imputables à la gestion des déjections animales (CRF 3C6)

Les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O découlant des déjections dans les étables ont été plutôt intégrées dans la sous-catégorie CRF 3A2 – Gestion des déjections animales. Par contre, les émissions indirectes de N<sub>2</sub>O imputables aux usages de fumier ou de déposition de fumier sur les parcours, ont été comptabilisées dans la sous-catégorie CRF 3C5 (cf. ci-dessus).

D'ailleurs le positionnement de cette sous-catégorie en tant que CRF 3C6 nous semble inapproprié, car source de confusion et de double comptage, avec la CRF 3A2 et la CRF 3C5. C'est pour cette raison justement qu'on a opté plutôt pour les affectations CRF 3A2 pour les émissions indirectes à l'étable, et CRF 3C5 pour les émissions indirectes découlant des usages (ou pâturages) sur les sols (ce qui n'a plus de rapport avec la gestion des déjections comme semble le suggérer l'appellation de CRF 3C6).

### 2.2.6. Emissions de CH<sub>4</sub> imputables à la riziculture (CRF 3C7)

Cette sous-catégorie n'est pas applicable en Tunisie, la riziculture n'étant pas pratiquée.

## 2.3. Incertitudes :

L'approche de détermination et d'estimation des incertitudes est présentée dans le volume 6 du présent guide.

## 2.4. Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :

Les dispositions générales décrites dans le chapitre II du volume introductif sont appliquées.

## 2.5. Améliorations envisagées :

A court terme aucune amélioration significative n'est prévue sur ce poste, étant donné qu'on a poussé la finesse des calculs au maximum des possibilités des données disponibles.

A plus long terme, on pourrait procéder à des estimations des émissions de N<sub>2</sub>O induites par la minéralisation de l'azote associé aux pertes de matière organique des sols dues aux changements d'affectation des terres ou de gestion associée des sols minéraux, ainsi que par la drainage/gestion des sols organiques.

Cette approche de niveau 2 (avec des matrices de changements) permettant de traduire l'état initial et l'état final de chaque surface de changement constituerait, comme déjà évoqué pour les estimations des émissions du carbone des sols, serait une amélioration importante mais une telle évolution nécessitera des ajouts importants aux fiches de calculs en place.

Il serait aussi possible, à terme, d'améliorer les calculs se rapportant au brûlage des résidus de récoltes, ainsi que les facteurs utilisés dans les calculs des émissions imputables aux incendies accidentels.

## 3. Forêt

### 3.1. Caractéristiques de la catégorie :

Cette catégorie couvre, pour le cas de la Tunisie, les prélèvements de bois (bois-énergie, bois d'œuvre et bois d'industrie, etc.) effectués sur la forêt, sur les oliveraies, et sur l'arboriculture. Ces prélèvements entraînent uniquement des émissions de CO<sub>2</sub>.

En effet, comme préconisé par le GIEC, les émissions de CO<sub>2</sub> imputables à la consommation de biomasse énergie doivent être attribuées à cette catégorie. En revanche, les émissions de tous les autres gaz doivent figurer dans le secteur de l'énergie (CRF 1A1 et 1A4).

### 3.2. Méthode d'estimation des émissions :

#### Produits du bois collectés (CRF 3D1)

Une fois collectés, le bois est utilisé soit à des fins industrielles, soit à des fins énergétiques.

#### Emissions de CO2 découlant des extractions de bois rond à des fins industrielles

Les quantités de bois rond (sciage, mines, trituration) extraites sont dument enregistrées par la DGF, puisqu'il s'agit de bois vendus, et donc comptabilisées avec précision.

Les émissions en découlant sont calculées en se basant sur l'équation 2.12. On notera qu'il s'agit des mêmes formules de calcul que celles utilisées pour les calculs de l'absorption de carbone par les biomasses aériennes et souterraines. Comme il s'agit d'opérations d'abattage, on comptabilisera également la biomasse souterraine dont on considère que le carbone qu'elle contient serait émis, dans tous les cas, dans des délais assez courts.

#### ÉQUATION 2.12

#### PERTES ANNUELLES DE CARBONE DE LA BIOMASSE DUES A L'EXTRACTION DE BOIS

$$P_{\text{extraction-de-bois}} = \{R \cdot \text{FECB}_E \cdot (1 + Tx) \cdot FC\}$$

Où :

$P_{\text{extraction de bois}}$  = Pertes annuelles de carbone dues à l'extraction de biomasse, tonnes C an<sup>-1</sup>

R = Extraction annuelle de bois, bois rond, m<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>

Tx = Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne, en tonne m.s. de biomasse souterraine (tonne m.s. de biomasse aérienne)<sup>-1</sup>. Tx doit être fixé à zéro si aucun changement n'est prévu en matière de schémas d'allocation de la biomasse souterraine (niveau 1).

FC = Fraction de carbone de la matière sèche, tonne C (tonne m.s.)<sup>-1</sup>

$\text{FECB}_E$  = Facteur d'expansion et de conversion de la biomasse en volume commercialisable par rapport à l'extraction totale de biomasse (écorce incluse), tonnes d'extraction de biomasse (m<sup>3</sup> d'extraction)<sup>-1</sup>, (voir tableau 4.5 pour les terres forestières). Toutefois, si les valeurs  $\text{FECB}_E$  ne sont pas disponibles, et si le facteur d'expansion de la biomasse pour l'extraction de bois ( $\text{FEB}_E$ ) et les valeurs de densité ligneuse de base (D) sont estimés séparément, la conversion suivante peut être utilisée :

$$\text{FECB}_E = \text{FEB}_E \cdot D$$

Les quantités de bois rond extraites seront donc multipliées par un  $\text{FECB}_E$  spécifique, puis on appliquera le terme Tx (0,375) qui permettra de tenir compte de la biomasse souterraine. On appliquera enfin le terme FC (0,47) pour estimer le carbone contenu dans le total des matières sèches comptabilisées.

En Tunisie, le  $\text{FECB}_E$  a été calculé en se référant aux facteurs par défaut de l'IPCC, qui sont déterminés en fonction des volumes de bois sur pieds. Pour le feuillus il est de 2,11 et pour les résineux il s'élève 1,33. La moyenne simple s'élève donc à 1,72. C'est donc ce terme qui a été utilisé pour passer du volume de bois rond extrait, vers les TMS.

Les émissions annuelles de carbone imputables aux extractions de bois rond se sont élevées à 107.538 tonnes-C en 2010 ; soit 394.306 tonnes de CO2.

#### Emissions de CO2 découlant des extractions de bois-énergie

Les quantités de bois-énergie extraites officiellement des forêts sont également dument enregistrées par la DGF, puisqu'il s'agit de bois vendus, et donc comptabilisées avec précision. Les émissions en découlant sont calculées en utilisant l'équation 2.13.

## ÉQUATION 2.13

## PERTES ANNUELLE SDE CARBONE DE LA BIOMASSE DUES A L'EXTRACTION DE BOIS DE CHAUFFAGE

$$P_{\text{bois-de-chauffage}} = [\{FG_{\text{arbres}} \bullet FECB_E \bullet (1 + Tx)\} + FG_{\text{parties}} \bullet D] \bullet FC$$

Où :

$P_{\text{bois de chauffage}}$  = Diminutions annuelles de carbone dues à l'extraction de bois de chauffage, tonnes C an<sup>-1</sup>

$FG_{\text{arbres}}$  = Volume annuel d'extraction de bois de chauffage sur des arbres entiers, m<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>

$FG_{\text{parties}}$  = Volume annuel d'extraction de bois de chauffage sur des parties d'arbres, m<sup>3</sup> an<sup>-1</sup>

$Tx$  = Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne, en tonne m.s. de biomasse souterraine (tonne m.s. de biomasse aérienne)<sup>-1</sup>.  $Tx$  doit être fixé à zéro si aucun changement n'est prévu en matière de schémas d'allocation de la biomasse souterraine. (Niveau 1)

$FC$  = Fraction de carbone de la matière sèche, tonne C (tonne m.s.)<sup>-1</sup>

$D$  = Densité ligneuse de base, tonnes m.s. m<sup>-3</sup>

$FECB_E$  = Facteur d'expansion et de conversion de la biomasse pour la conversion des extractions en volume commercialisable en extraction totale de biomasse (écorce incluse), tonnes d'extraction de biomasse (m<sup>3</sup> d'extraction)<sup>-1</sup>, (voir tableau 4.5 pour les terres forestières). Si les valeurs de  $FECB_E$  ne sont pas disponibles, et si le facteur d'expansion de la biomasse pour l'extraction de bois ( $FEB_E$ ) et les valeurs de densité ligneuse de base ( $D$ ) sont estimés séparément, la conversion suivante peut être utilisée :

$$FECB_E = FEB_E \bullet D$$

Les facteurs d'expansion de la biomasse ( $FEB_E$ ) permettent d'extrapoler l'extraction de bois commercialisable au volume total de la biomasse aérienne afin de prendre en compte les éléments non commercialisables de l'arbre, le peuplement et la forêt.  $FEB_E$  est non dimensionnel.

Au total, les émissions annuelles de carbone par l'utilisation de biomasse énergie liées aux ventes officielles de la DGF, se sont élevées à 74 414 tonnes-C en 2010 ; soit 272 850 tonnes de CO<sub>2</sub>.

Toutefois, ces quantités officielles ne sont pas représentatives des quantités réelles de bois extraites à des fins énergétiques, des forêts, des champs d'oliviers et des champs arboricoles.

On a donc adopté une approche spécifiquement tunisienne pour déterminer les quantités de biomasse-énergie utilisées réellement en Tunisie.

Les quantités de biomasse-énergie ont été calculées pour l'année 2010 en se basant sur un modèle permettant d'extrapoler les données de l'enquête de 1997 (dernière enquête en date sur la biomasse-énergie en Tunisie). Ce modèle s'est appuyé sur une stratification des consommations unitaires par ménage de biomasse-énergie par usage, ainsi que des consommations du tertiaire, et sur les évolutions respectives des populations urbaines et rurales.

Les données de consommation de biomasse-énergie ont ensuite été multipliées par 0,5 pour les ramener à la matière sèche, puis par le terme FC (0,47) pour estimer le carbone contenu dans le total des matières sèches consommées à des fins énergétiques. Le terme final trouvé (892.000 tonnes de carbone) est ensuite multiplié par le coefficient d'oxydation (0,91).

Il faut rappeler que les consommations de biomasse-énergie qui ont servi aux calculs ont été minorées des quantités de bois-énergie vendues officiellement, et qui sont estimées ci-dessus, ainsi que des quantités extraites à l'issue des incendies de forêts, qui avaient été, elles, attribuées à CRF 3C1a.

Les émissions annuelles de carbone par l'utilisation de biomasse énergie (hors ventes officielles de la DGF) se sont élevées à 812°650 tonnes-C en 2010 ; soit 2 979 716 tonnes de CO<sub>2</sub>.

Au total, les émissions annuelles de carbone par l'utilisation de biomasse énergie (ventes officielles et extractions directes par la population) se sont élevées à 887 064 tonnes-C en 2010 ; soit 3°252°566 tonnes de CO<sub>2</sub>.

### 3.3. Incertitude :

L'approche de détermination et d'estimation des incertitudes est présentée dans le volume 6 du présent guide.

### 3.4. Contrôle et assurance qualité (qa/qc) :

Les dispositions générales décrites dans le chapitre II du volume introductif sont appliquées.

### 3.5. Améliorations envisagées :

A court terme aucune amélioration significative n'est prévue sur ce poste.

A plus long terme, il sera important de réaliser une enquête d'envergure de la consommation de biomasse énergie en Tunisie. Grâce à une telle enquête, on aura une vision plus récente et donc fiable des véritables usages de la biomasse-énergie en Tunisie. Il sera aussi important de déterminer l'origine du bois-énergie (forêts, parcours, oliveraies, arboriculture, etc.), et surtout son caractère renouvelable ou pas.

## 4. Autres affectations des terres (3B) :

### 4.1. Variations des stocks de bois mort, de litière et des sols (crf 3b1 a 3b6):

#### 4.1.1. Caractéristiques de la catégorie :

Comme expliqué au début du chapitre AFOLU, la partie du rapport intitulée « forêt » intègre les flux de carbone liés à la biomasse vivante estimés sur les terres en forêt et en arboriculture mais elle n'intègre pas la partie relative aux réservoirs de carbone « Sol » et « litière ». A l'opposé, la partie du rapport « Autres affectations des terres » n'intègre pas la biomasse vivante des terres en forêt et en arboriculture mais intègre les flux de carbone des réservoirs de carbone « Sol » et « litière » pour toutes les terres y compris les terres forestières.

Ce secteur s'appuie sur la définition de 6 affectations des terres principales identifiées par le GIEC :

- Forêts
- Cultures
- Parcours (ou prairies)
- Zones humides
- Etablissements
- Autres terres

Pour chacune de ces terres, l'inventaire doit estimer les variations de stocks de carbone de tous les réservoirs de carbone (biomasse vivante, bois mort, litière, sol) pour l'année inventoriée. Pour rappel les biomasses forestière et arboricole sont traitées dans le chapitre Forêts, mais en pratique, dans l'inventaire tunisien actuel, la biomasse des autres terres est actuellement négligée ainsi que les stocks de bois mort pour lesquels le GIEC ne donne pas de référence facilement utilisables. Le chapitre suivant traitera donc essentiellement les variations de stocks de la litière et des sols.

Pour augmenter la précision des estimations et du rapportage, le GIEC recommande de distinguer des sous-catégories au sein des affectations principales de la manière suivante :

Affectation	Sous-catégorie	Chapitre du GIEC
Forêts	Forêts restant forêts	4.2
	Terres devenant forêts	4.3
Cultures	Cultures restant cultures	5.2
	Terres devenant cultures	5.3
Parcours (ou prairies)	Parcours restant parcours	6.2
	Terres devenant parcours	6.3
Zones humides	Zones humides restant zones humides	7.2
	Terres devenant Zones humides	7.3
Etablissements	Etablissements restant établissements	8.2
	Terres devenant établissements	8.3
Autres terres	Autres terres restant autres terres	9.2
	Terres devenant autres terres	9.3

Ce secteur est basé sur une estimation des surfaces et sur leur évolution. En Tunisie il existe différentes données disponibles pour suivre l'évolution des terres mais toutes ne sont pas adaptées aux besoins du rapportage. Il existe notamment deux inventaires forestier et pastoral assimilables aux années 1990 et 2000 si on considère les informations cartographiques, en revanche leur utilisation pour estimer des tendances d'évolution n'est pas aisée dans la mesure où les nomenclatures et les protocoles de collecte des données ont évolué sur la période.

Pour cet inventaire de gaz à effet de serre, seul le second inventaire pastoral a été retenu pour servir de référence à l'année 2000.

La méthodologie GIEC se base également sur les types de sols associés à chaque catégorie d'affectation des terres. La cartographie des affectations des terres issue de l'inventaire forestier pastoral pour l'année 2000 est donc croisé avec la carte pédologique de la Tunisie ce qui permet d'estimer pour l'année 2000, les surfaces par type d'affectation et par type de sol.

Quatre types de sols sont proposés par le GIEC et permettent d'utiliser les facteurs par défaut du GIEC :

- ATA (Argileux Très Actif = Vertisol)
- APA (Argileux Peu Actif = lourd)
- Sablonneux
- Organiques

Les surfaces de chaque affectation par type de sol sont ensuite estimés chaque année depuis 1990 jusqu'en 2010 grâce à des taux de changements annuels appliqués à l'année 2000. Les principaux types de changements identifiés en Tunisie sont les suivants :

- Reboisements (Terres devenant forêts)
- Extension des terres cultivées sur le désert (Autres terres devenant cultures)
- Terres inondées (Terres devenant zones humides)
- Artificialisation (Terres devenant artificielles)
- Désertification (Terres devenant autres terres)

Les autres conversions sont jugées marginales ou trop incertaines en Tunisie et ne sont pas estimées c'est notamment le cas des défrichements jugés inexistantes et des conversions entre cultures et parcours qui ne sont pas facilement estimables.

### **Reboisements et plantations pastorales**

Les données de boisements et reboisements depuis 1994 sont issues de la Direction générale des forêts, elles sont extrapolées sur l'ensemble de la période 1990-2010 et réparties à dire d'expert par type de sol.

Surfaces (ha) converties durant la période	1990-2010
ATA (Argileux Très Actif)	0
APA (Argileux Peu Actif)	378 950
Sablonneux	42 106
Organiques	0
<b>Total des terres devenant forêt</b>	<b>421 055</b>

### **Extension des terres cultivées sur le désert**

Les surfaces d'extension des terres cultivées sont estimées à partir des enquêtes réalisées par le DGEDA sur les périmètres irrigués, de 1990, de 2000 et de 2010 et sur les enquêtes de suivi des campagnes agricoles de 1990, de 2000 et de 2010. Les terres gagnées sur le désert concernent essentiellement de l'arboriculture irriguée et sont affectées à des sols sableux.

Surfaces (ha) converties durant la période	1990-2010
ATA (Argileux Très Actif)	0
APA (Argileux Peu Actif)	0
Sablonneux	64 585
Organiques	0
<b>Total des autres terres devenant cultures</b>	<b>64 585</b>

### **Terres inondées**

Les superficies converties en terres inondées sont estimées sur la base de données fournies par la DG ACTA sur les surfaces mises en eau du fait de la création de barrages et sur le nombre de lac collinaires (dont la superficie moyenne est supposée de 4 ha). L'ensemble des retenues d'eau sont affectées à des sols argileux peu actifs.

Surfaces (ha) converties durant la période	1990-2010
ATA (Argileux Très Actif)	0
APA (Argileux Peu Actif)	9 302
Sablonneux	0
Organiques	0
<b>Total des terres devenant zones humides</b>	<b>9 302</b>

### **Artificialisation**

Les surfaces d'artificialisation sont estimées par le Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire dans le cadre du Programme d'Action National de Lutte contre la Désertification à 4 000 ha/an de terres cultivées perdues par artificialisation.

Surfaces (ha) converties durant la période	1990-2010
ATA (Argileux Très Actif)	0
APA (Argileux Peu Actif)	48 000
Sablonneux	32 000
Organiques	0
<b>Total des terres devenant établissements</b>	<b>80 000</b>

### Désertification

Les surfaces de désertification estimées par le Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire dans le cadre du Programme d'Action National de Lutte contre la Désertification ont été retenues pour l'inventaire de gaz à effet de serre, ce qui correspond à à 23 000 ha/an de terres perdues par désertification. Cette valeur est cohérente avec les données de l'Observatoire du Sahara et du Sahel qui estiment un ordre de grandeur de 21 000 ha/an.

Surfaces (ha) converties durant la période	1990-2010
ATA (Argileux Très Actif)	0
APA (Argileux Peu Actif)	0
Sablonneux	460 000
Organiques	0
<b>Total des terres devenant désert</b>	<b>460 000</b>

### Surfaces par type d'affectation et par type sols sur la période 1990-2010

Comme expliqué précédemment la référence des surfaces estimées pour l'année 2000 est obtenue en croisant la cartographie des usages issue du second inventaire forestier pastoral et la cartographie des sols tunisiens. Grâce aux surfaces de changement estimées en Tunisie, les surfaces ont pu être estimées pour toute la période 199-2010 par type d'affectation et par type de sol.

Les surfaces (en hectares) par type d'affectation et par type de sol pour les années 1990, 2000 et 2010 sont présentées dans le tableau suivant :

Affectation de la terre (ha)	Type de sol	1990	2000	2010
Forêt	ATA	47 540	47 540	47 540
	APA	567 193	792 431	946 143
	Sablonneux	13 966	38 992	56 071
	Organiques	131 587	131 587	131 587
	TOTAL	760 286	1 010 550	1 181 341

<b>Cultures</b>	ATA	226 320	226 320	226 320
	APA	4 081 042	4 056 974	4 032 279
	Sablonneux	213 071	228 026	245 656
	Organiques	46 394	46 394	46 394
	<b>TOTAL</b>	<b>4 566 828</b>	<b>4 557 715</b>	<b>4 550 650</b>
<b>Parcours (Prairies)</b>	ATA	19 500	19 500	19 500
	APA	2 385 693	2 152 791	1 998 384
	Sablonneux	3 300 334	3 045 308	2 798 229
	Organiques	7 902	7 902	7 902
	<b>TOTAL</b>	<b>5 713 429</b>	<b>5 225 501</b>	<b>4 824 015</b>
<b>Zones humides</b>	ATA	7 953	7 953	7 953
	APA	768 508	776 240	777 630
	Sablonneux	25 020	25 020	25 020
	Organiques	2 703	2 703	2 703
	<b>TOTAL</b>	<b>804 184</b>	<b>811 916</b>	<b>813 306</b>
<b>Etablissements</b>	ATA	3 800	3 800	3 800
	APA	133 757	157 757	181 757
	Sablonneux	11 316	27 316	43 316
	Organiques	1 161	1 161	1 161
	<b>TOTAL</b>	<b>150 034</b>	<b>190 034</b>	<b>230 034</b>
<b>Autres terres (désert,...)</b>	ATA	7 903	7 903	7 903
	APA	287 784	287 784	287 784
	Sablonneux	4 107 050	4 306 095	4 502 465
	Organiques	2 502	2 502	2 502
	<b>TOTAL</b>	<b>4 405 239</b>	<b>4 604 284</b>	<b>4 800 654</b>
<b>TOTAL par type de sol</b>	ATA	313 016	313 016	313 016
	APA	8 223 976	8 223 976	8 223 976
	Sablonneux	7 670 757	7 670 757	7 670 757
	Organiques	192 251	192 251	192 251
	<b>TOTAL</b>	<b>16 400 000</b>	<b>16 400 000</b>	<b>16 400 000</b>

#### 4.1.2. Méthode d'estimation des émissions :

Pour estimer les émissions / absorptions des terres, le GIEC propose deux grandes méthodes :

- La méthode des flux (ou méthode Gains-Pertes),
- La méthode de variation des stocks.



La méthode des flux (ou méthode Gains-Pertes), est actuellement utilisée pour estimer les flux de biomasse sur les terres forestière et en arboriculture uniquement.

Cette méthode est illustrée par l'équation du GIEC suivante :

**ÉQUATION 2.4**  
**VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE POUR UN POOL PARTICULIER, CALCULEES PAR LES GAINS ET LES PERTES (METHODE GAINS-PERTES)**

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_P$$

Où :

$\Delta C$  = Variations annuelles des stocks de carbone dans le pool, tonnes C an<sup>-1</sup>

$\Delta C_G$  = Gains annuels de carbone, tonnes C an<sup>-1</sup>

$\Delta C_P$  = Pertes annuelles de carbone, tonnes C an<sup>-1</sup>

Les flux de carbone traités dans ce chapitre sont estimés grâce à la méthode de variation de stock.

Cette méthode est illustrée par l'équation du GIEC suivante :

**ÉQUATION 2.5**  
**VARIATIONS DES STOCKS DE CARBONE DANS UN POOL PARTICULIER EN TANT QUE DIFFERENCE MOYENNE ANNUELLE ENTRE DES ESTIMATIONS EFFECTUEES A DEUX POINTS TEMPORELS DIFFERENTS (METHODE DE DIFFERENCE DES STOCKS)**

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

Où :

$\Delta C$  = Variations annuelles des stocks de carbone dans le pool, tonnes C an<sup>-1</sup>

$C_{t_1}$  = Stock de carbone dans le pool au point temporel  $t_1$ , tonnes C

$C_{t_2}$  = Stock de carbone dans le pool au point temporel  $t_2$ , tonnes C

### **Estimation des flux liés au réservoir biomasse**

Comme expliqué précédemment pour la biomasse aucun flux n'est traité dans ce chapitre car les flux de biomasse forestière et de l'arboriculture sont traités dans le chapitre forêt et les flux de biomasse sur les autres terres sont négligés.

### **Estimation des flux liés au réservoir bois mort**

Pour le bois mort les flux sont également négligés car selon la Direction générale des Forêts, le stock de bois mort en forêt est très faible dans la mesure où il est systématiquement récolté pour un usage énergétique. De plus les prélèvements de bois énergie intègre les prélèvements de bois mort, cela revient à dire que le réservoir bois mort est inclus dans le réservoir biomasse vivante. Sur les autres terres les flux liés au bois mort sont négligés.

### **Estimation des flux liés au réservoir litière**

Pour la litière, la situation est différente car les stocks de litières peuvent être importants. En situation de stabilité, pour les forêts restant forêt ces stocks sont supposés à l'équilibre et aucun flux n'est estimé

en revanche lors des boisements la litière se constitue et est supposée atteindre son niveau d'équilibre au bout de 20 ans (valeur par défaut du GIEC). Sur les terres converties en forêt un puits de carbone est comptabilisé pour le réservoir de carbone litière en appliquant l'équation 2.5 du GIEC.

Sur toutes les autres terres, la litière est supposée nulle, en principe il faudrait donc comptabiliser des pertes de litière en cas de défrichement mais les défrichements sont estimés inexistantes en Tunisie. Aucune émission n'est donc comptabilisée actuellement sur le réservoir litière dans les inventaires de gaz à effet de serre de la Tunisie.

Stock dans la litière (tC/ha)	valeur GIEC par défaut
Forêt caducifoliée	28.2
Forêt conifères	20.3

La répartition entre forêt caducifoliée et forêt conifère est estimée à dire d'expert selon les proportions suivantes :

	Forêts restant forêts		Terres devenant forêts	
	1990	2010	1990	2010
Forêt caducifoliée	33%	33%	33%	33%
Forêt conifères	67%	67%	67%	67%
Total	100%	100%	100%	100%

Les stocks de carbone utilisés pour la forêt tunisienne sont estimés en pondérant les stocks de litière pour les forêts caducifoliées et les forêts de conifères.

Stock de la litière (tC/ha)	Forêts restant forêts		Terres devenant forêts	
	1990	2010	1990	2010
Forêt	23	23	23	23

### Estimation des flux liés au réservoir sol

Pour le réservoir de carbone sol, le GIEC propose une méthodologie complexe basée sur des stocks de référence et des facteurs d'ajustement dépendant des pratiques. Cette méthodologie a été mise en place pour toutes les catégories de terre mais elle est surtout adaptée aux terres cultivées pour lesquelles des données sur les évolutions de pratiques sont en partie être disponibles Cette méthodologie est illustrée par les équations suivantes :

**ÉQUATION 2.25**  
**VARIATIONS ANNUELLES DES STOCKS DE CARBONE ORGANIQUE DES SOLS MINÉRAUX**

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \frac{(COS_0 - COS_{(0-T)})}{D}$$

$$COS = \sum_{c,s,i} (COS_{REF_{c,s,i}} \cdot F_{AFT_{c,s,i}} \cdot F_{Gestion_{c,s,i}} \cdot F_{Entrées_{c,s,i}} \cdot S_{c,s,i})$$

(Note : Dans cette équation T est utilisé à la place de D si T est  $\geq 20$  ans : voir note ci-dessous)

Où :

$\Delta C_{\text{Minéraux}}$  = Variations annuelles des stocks de carbone des sols minéraux, tonnes C an<sup>-1</sup>

$COS_0$  = Stock de carbone organique des sols dans la dernière année d'une période d'inventaire, tonnes C

$COS_{(0-T)}$  = Stock de carbone organique des sols au début de la période d'inventaire, tonnes C

$COS_0$  et  $COS_{(0-T)}$  sont calculés en employant l'équation des COS dans la case où les stocks de carbone de référence et les facteurs de variation des stocks sont renseignés en fonction des activités d'affectation et d'exploitation des terres et par rapport aux territoires à chaque point temporel précis (point temporel = 0 et point temporel = 0-T)

T = Nombre d'années d'une seule période d'inventaire, an

D = Dépendance temporelle des facteurs de variation des stocks utilisée comme période de temps pour la transition entre les valeurs COS équilibrées, an. En général, 20 ans, mais dépend des hypothèses émises lors du calcul des facteurs  $F_{AFT}$ ,  $F_{Gestion}$  et  $F_{Entrées}$ . Si T a une valeur plus élevée que D, utiliser la valeur de T pour obtenir un taux annuel de variations sur la période de l'inventaire (0-T ans).

c = Représente les zones climatiques, s les types de sols, et i la fourchette de systèmes de gestion présente dans un pays.

$COS_{REF}$  = Stock de carbone de référence, tonnes C ha<sup>-1</sup> (tableau 2.3)

$F_{AFT}$  = Facteur de variation des stocks pour des systèmes ou sous-systèmes d'affectation des terres pour une affectation des terres particulière, non dimensionnel

[À noter :  $F_{PN}$  se substitue à  $F_{AFT}$  pour le calcul du C des sols des forêts pour estimer l'influence des régimes de perturbations naturelles.]

$F_{Gestion}$  = Facteur de variation des stocks pour les régimes de gestion, non dimensionnel

$F_{Entrées}$  = Facteur de variation des stocks pour l'entrée de matière organique, non dimensionnel

En pratique, le GIEC propose deux approches différentes pour appliquer ces équations :

Approche 1 : basée sur la connaissance de surfaces à deux dates différentes (flux nets)

Approche 2 : basée sur la connaissance des surfaces de changements et des occupations finales et initiales (flux bruts)

Ces deux approches sont illustrées par les équations suivantes :

ENCADRE 2.1

AUTRES FORMULATIONS DE L'ÉQUATION 2.25 POUR DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS À L'APPROCHE 1 PAR RAPPORT À DES DONNÉES SUR LES ACTIVITÉS À L'APPROCHE 2 OU 3 AVEC MATRICES DE TRANSITION

Deux formulations alternatives de l'équation sont possibles en fonction de l'approche utilisée pour collecter les données sur les activités, notamment :

Formulation A (Approche 1 de collecte des données sur les activités)

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \frac{\left[ \sum_{c,s,i} \left( \text{COS}_{\text{REF}_{c,s,i}} \cdot F_{\text{Aft}_{c,s,i}} \cdot F_{\text{Gestion}_{c,s,i}} \cdot F_{\text{Entrées}_{c,s,i}} \cdot S_{c,s,i} \right) \right]_0 - \left[ \sum_{c,s,i} \left( \text{COS}_{\text{REF}_{c,s,i}} \cdot F_{\text{Aft}_{c,s,i}} \cdot F_{\text{Gestion}_{c,s,i}} \cdot F_{\text{Entrées}_{c,s,i}} \cdot S_{c,s,i} \right) \right]_{(0-T)}}{D}$$

Formulation B (Approches 2 et 3 de collecte des données sur les activités)

$$\Delta C_{\text{Minéraux}} = \frac{\sum_{c,s,p} \left[ \left\{ \left( \text{COS}_{\text{REF}_{c,s,p}} \cdot F_{\text{Aft}_{c,s,p}} \cdot F_{\text{Gestion}_{c,s,p}} \cdot F_{\text{Entrées}_{c,s,p}} \right)_0 - \left( \text{COS}_{\text{REF}_{c,s,p}} \cdot F_{\text{Aft}_{c,s,p}} \cdot F_{\text{Gestion}_{c,s,p}} \cdot F_{\text{Entrées}_{c,s,p}} \right)_{(0-T)} \right\} \cdot S_{c,s,p} \right]}{D}$$

Où :

$p$  = parcelle de terre

Pour cet inventaire de la Tunisie il a été choisi de privilégier l'approche 1 avec application de la formulation A car la caractérisation des terres par sous catégorie fine requise dans l'approche 2 est complexe. Par mesure de précaution, l'approche 1 a été appliquée en utilisant les surfaces estimées précédemment sur toute la période 1990-2010.

**Les sols en forêt**

La méthodologie de niveau 1 pour les sols des forêts est relativement simple dans la mesure où les stocks de carbone des sols sont supposés ne pas dépendre des pratiques forestières dont les éventuelles évolutions ne sont pas facilement accessibles.

En ce qui concerne les types de sol et en confrontant les critères cités au Chapitre 3 Annexe 3 A.5 aux réalités des sols tunisiens, 4 types de sol ont été retenus, leur stock de carbone par hectare est directement estimé à partir des valeurs par défaut du GIEC (Tab 2.3 p 39 chap 2). Les stocks de C organique des sols de référence sont choisis pour un climat tempéré chaud et sec sauf pour les sols organiques pour lesquels il n'existe pas de valeur par défaut pour ce climat. Pour les sols organiques, la valeur choisie correspond à un climat froid tempéré et pluvieux.

$\text{COS}_{\text{REF}}$ (tC/ha) = Stock des sols (tC/ha) en forêt	valeur GIEC par défaut
ATA (Argileux Très Actif = Vertisol)	38
APA (Argileux Peu Actif = lourd)	24
Sablonneux	19
Organiques	115

### Les sols en cultures

Comme pour les autres affectations, les stocks de C organique des sols de référence sont fournis par le GIEC (Tab 2.3 p 39 chap 2), les valeurs sont choisies pour un climat tempéré chaud et sec sauf pour les sols organiques pour lesquels il n'existe pas de valeur par défaut pour ce climat. Pour les sols organiques, la valeur choisie correspond à un climat froid tempéré et pluvieux.

$\text{COS}_{\text{REF}}$ (tC/ha)	valeur GIEC par défaut
ATA (Argileux Très Actif = Vertisol)	38
APA (Argileux Peu Actif = lourd)	24
Sablonneux	19
Organiques	115

Les valeurs du paramètre  $F_{\text{Aft}}$  sont fournies par le GIEC (Tab 5.5 p 20 chap 5), et choisies pour un climat tempéré et sec.

$F_{\text{Aft}}$	valeur GIEC par défaut
Cultures à long terme	0.8
Cultures d'arbres/vivaces	1.0

Les répartitions entre cultures à long terme et cultures d'arbres sont estimées à partir des enquêtes de la DGEDA pour les cultures restant cultures et supposées de l'arboriculture exclusivement pour les terres devenant cultures.

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>ATA (Argileux Très Actif = Vertisol)</b>				
Cultures à long terme	83%	83%	0%	0%
Cultures d'arbres/vivaces	17%	17%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>APA (Argileux Peu Actif = lourd)</b>				
Cultures à long terme	47%	47%	0%	0%
Cultures d'arbres/vivaces	53%	53%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>Sablonneux</b>				
Cultures à long terme	18%	18%	0%	0%
Cultures d'arbres/vivaces	82%	82%	100%	100%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>Organiques</b>				
<b>Cultures à long terme</b>	0%	0%	0%	0%
<b>Cultures d'arbres/vivaces</b>	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

Le facteur  $F_{\text{Gestion}}$  permet d'ajuster le stock de carbone de référence en fonction de gestion du sol (travail du sol, etc.). Compte tenu du contexte tunisien, un seul mode de gestion a été retenu à savoir le travail du sol total (Tab 5.5 p 20 chap 5).

Les valeurs du paramètre  $F_{\text{Entrées}}$  sont fournies par le GIEC (Tab 5.5 p 20 chap 5), et choisies pour un climat tempéré et sec.

$F_{\text{Entrées}}$	valeur GIEC par défaut
Entrée faible	0.95
Entrée moyenne	1.00
Entrée élevée ss fumier	1.04
Entrée élevée avec fumier	1.37

Les répartitions entre niveaux d'entrée par type de sol sont estimées à partir des enquêtes de la DGEDA.

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>ATA (Argileux Très Actif = Vertisol)</b>				
<b>Entrée faible</b>	47%	47%	0%	0%
<b>Entrée moyenne</b>	39%	39%	0%	0%
<b>Entrée élevée ss fumier</b>	15%	15%	0%	0%
<b>Entrée élevée avec fumier</b>	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>APA (Argileux Peu Actif = lourd)</b>				
<b>Entrée faible</b>	52%	52%	0%	0%
<b>Entrée moyenne</b>	21%	21%	0%	0%
<b>Entrée élevée ss fumier</b>	27%	27%	0%	0%
<b>Entrée élevée avec fumier</b>	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>Sablonneux</b>				
Entrée faible	54%	54%	100%	100%
Entrée moyenne	6%	6%	0%	0%
Entrée élevée ss fumier	40%	40%	0%	0%
Entrée élevée avec fumier	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>Organiques</b>				
Entrée faible	0%	0%	0%	0%
Entrée moyenne	0%	0%	0%	0%
Entrée élevée ss fumier	0%	0%	0%	0%
Entrée élevée avec fumier	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

L'application de l'équation 2.25 du GIEC donne les résultats suivants en termes de stock de carbone par unité de surface pour les cultures.

Stock des sols (tC/ha)	Cultures restant cultures		Terres devenant cultures	
	1990	2010	1990	2010
<b>ATA (Argileux Très Actif = Vertisol)</b>	31.1	31.1	Inexistant	Inexistant
<b>APA (Argileux Peu Actif = lourd)</b>	21.4	21.4	Inexistant	Inexistant
<b>Sablonneux</b>	18.1	18.1	18.1	18.1
<b>Organiques</b>	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant

### Les sols sur les terres de parcours

Comme pour les autres affectations, les stocks de carbone organique des sols de référence sont fournis par le GIEC (Tab 2.3 p 39 chap 2), les valeurs sont choisies pour un climat tempéré chaud et sec sauf pour les sols organiques pour lesquels il n'existe pas de valeur par défaut pour ce climat. Pour les sols organiques, la valeur choisie correspond à un climat froid tempéré et pluvieux.



$COS_{REF}$ (tC/ha)	valeur GIEC par défaut
ATA (Argileux Très Actif = Vertisol)	38
APA (Argileux Peu Actif = lourd)	24
Sablonneux	19
Organiques	115

Les valeurs pour le paramètre  $F_{Gestion}$  sont fournies par le GIEC (Tab 6.2 chap 6), et choisies pour un climat tempéré.

$F_{Gestion}$	valeur GIEC par défaut
Non dégradé	1.00
Moyennement dégradé	0.95
Fortement dégradé	0.70
Amélioré	1.14

Le facteur  $F_{Gestion}$  permet d'ajuster le stock de carbone de référence en fonction du niveau de dégradation du sol. Compte tenu du contexte tunisien, tous les parcours ont été répartis entre moyennement et fortement dégradés (50%-50%).

	Parcours restant parcours		Terres devenant parcours	
	1990	2010	1990	2010
<b>Tous sols confondus (ATA, APA, etc.)</b>				
Non dégradé	0%	0%	0%	0%
Moyennement dégradé	50%	50%	50%	50%
Fortement dégradé	50%	50%	50%	50%
Améliorée	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

L'application de l'équation 2.25 du GIEC donne les résultats suivants en termes de stock de carbone par unité de surface pour les parcours.

	Parcours restant parcours		Terres devenant parcours	
	1990	2010	1990	2010
<b>Tous sols confondus (ATA, APA, etc.)</b>				
Non dégradé	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant
Moyennement dégradé	19.8	19.8	19.8	19.8
Fortement dégradé	15.7	15.7	15.7	15.7
Améliorée	Inexistant	Inexistant	Inexistant	Inexistant

### Les sols des zones humides

Sur les zones humides, les stocks de carbone dans les sols ne dépendent pas directement du substrat géologique, ils peuvent être considérés à part. La valeur de 88 tC/ha est retenue sur la base des données GIEC pour un climat chaud tempéré sec pour tous les types de «sol».

### Les sols des zones établissements et des autres terres

Sur les établissements et les autres terres (incluant en grande partie de désert), les stocks de carbone dans les sols sont négligés et considérés nuls

#### 4.1.3. Incertitude :

L'approche de détermination et d'estimation des incertitudes est présentée dans le volume 6 du présent guide.

#### 4.1.4. Contrôle et assurance qualité (qa/qc) :

Les dispositions générales décrites dans le chapitre II du volume introductif sont appliquées.

#### 4.1.5. Améliorations envisagées :

A court terme aucune amélioration significative n'est prévue sur ce poste.

A plus long terme, la possibilité d'utiliser une méthode dite d'« approche 2 » (avec des matrices de changements) permettant de traduire l'état initial et l'état final de chaque surface de changement constituerait une amélioration importante mais une telle évolution nécessitera une modification importante des calculs en place.

Certaines données sur les stocks de carbone de référence dans les sols ou dans la litière pourrait correspondre à des données spécifiques à la Tunisie et permettrait une amélioration significative des estimations.

Des travaux sont également envisageables sur le long terme pour incorporer d'autres changements d'utilisation des terres actuellement négligés tels les défrichements et les changements entre cultures et parcours s'ils existent. Ces améliorations dépendront de la disponibilité de nouvelles données.

Enfin, la prise en compte d'informations plus fines, issues de projets locaux par exemple, sur les évolutions des pratiques agricoles comme le travail du sol ou la gestion des intrants pourrait permettre des améliorations significatives de l'inventaire.

## 4.2. Biomasse aérienne et souterraine des forêts et des cultures (3b1 et 3b2) :

### 4.2.1. Caractéristiques de la catégorie :

Comme expliqué au début du chapitre AFAT, la présente section du rapport intègre les flux de carbone liés à la biomasse vivante estimés sur les terres en forêt (3B1) et en arboriculture (SB2).

Ce secteur est basé sur une assez bonne estimation des surfaces forestières et en arboriculture et sur leur évolution.

Il existe notamment deux inventaires forestier et pastoral assimilables aux années 1990 et 2000 si on considère les informations cartographiques. En revanche, leur utilisation pour estimer des tendances d'évolution n'est pas aisée dans la mesure où les nomenclatures et les protocoles de collecte des données ont évolué sur la période.

## 4.2.2. Méthode d'estimation des émissions :

### 4.2.2.1. Terres forestières (CRF 3B1) :

Le calcul des émissions/absorptions de carbone par la biomasse vivante des forêts est effectué pour deux catégories :

- Les forêts existantes (terres forestières restantes terres forestières)
- Les reboisements forestiers (autres terres devenant terres forestières)

Il faut rappeler que les émissions découlant des extractions de bois, de tout type, et pour divers usages, sont couvertes par la catégorie CRF 3D. On se concentrera donc dans cette section sur les absorptions de carbone par la biomasse aérienne et souterraine.

#### **Absorptions de carbone par la biomasse vivante dans les forêts existantes**

Le travail le plus important concerne la détermination des surfaces forestières par catégorie, pour l'année d'inventaire GES 2010 et l'évaluation des croissances annuelles en bois vert, desquelles seraient déduites les séquestrations de carbone (ou éventuellement émissions).

Les données de superficie des forêts pour l'année 2010, par Gouvernorat, proviennent des résultats du deuxième inventaire forestier national (IFN2) publié par la Direction Générale des Forêts en 2010. Ces données de surfaces distinguent les forêts de conifères des forêts de feuillus, lesquelles présentent des accroissements annuels en biomasse différents.

Les surfaces des forêts ont été complétées par les surfaces estimées des brises vents et des plantations des berges et dunes, ainsi que les plantations d'alignement.

Les calculs se basent sur les «équations 2.9 et 2.10.

#### ÉQUATION 2.9

**AUGMENTATION ANNUELLE DES STOCKS CARBONE DE LA BIOMASSE DUE A LA CROISSANCE DE LA BIOMASSE DANS LE TERRE RESTANT DANS LA MEME CATEGORIE D'AFFECTATION DES TERRES**

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} (S_{i,j} \cdot C_{ce-TOTALE,i,j} \cdot FC_{i,j})$$

Où :

$\Delta C_G$  = Augmentation annuelle des stocks de carbone de la biomasse pour les terres restant dans la même catégorie d'affectation des terres, par type de végétation et zone climatique, tonnes C an<sup>-1</sup>

S = Superficie restant dans la même catégorie d'affectation des terres, ha

$C_{ce-TOTALE}$  = Croissance annuelle moyenne de la biomasse, tonnes m.s. ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

i = Zone écologique (i = 1 à n)

j = Domaine climatique (j = 1 à m)

FC = Fraction de carbone de la matière sèche, tonne C (tonne m.s.)<sup>-1</sup>

**EQUATION 2.10**  
**GAINS ANNUELS MOYENS DE BIOMASSE**

**Niveau 1**

$C_{ce-TOTALE} = \sum \{C_{ce} \cdot (1 + Tx)\}$  : Les données de l'augmentation de la biomasse (matière sèche) sont utilisées directement.

**Niveaux 2 et 3**

$C_{ce-TOTALE} = \sum \{I_V \cdot FECB_A \cdot (1 + Tx)\}$  : Les données d'augmentation annuelle nette sont utilisées pour estimer  $C_{ce}$  en employant un facteur d'expansion et de conversion de la biomasse

Où :

$C_{ce-TOTALE}$  = Croissance annuelle moyenne de biomasse souterraine et aérienne, tonnes m. s.  $ha^{-1} an^{-1}$

$C_{ce}$  = Croissance annuelle moyenne de la biomasse aérienne pour un type spécifique de végétation ligneuse, tonnes m.s.  $ha^{-1} an^{-1}$

$Tx$  = Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne pour un type spécifique de végétation, en tonne m.s. de biomasse souterraine (tonne m.s. biomasse aérienne)<sup>-1</sup>.  $Tx$  doit être fixé à zéro si l'on estime qu'il n'y a pas eu de modifications des schémas d'allocation de la biomasse souterraine (niveau 1).

$I_V$  = Accroissement annuel moyen net d'un type de végétation spécifique,  $m^3 ha^{-1} an^{-1}$

$FECB_A$  = Facteur d'expansion et de conversion de la biomasse pour la conversion de l'accroissement annuel net en volume (y compris l'écorce) en accroissement de la biomasse aérienne pour un type de végétation spécifique, tonnes d'accroissement de la biomasse aérienne ( $m^3$  d'accroissement annuel net)<sup>-1</sup>, (voir tableau 4.5 pour les terres forestières). Si les valeurs  $FECB_A$  ne sont pas disponibles, et si le facteur d'expansion de la biomasse (FEB) et la densité ligneuse de base (D) sont estimés séparément, la conversion suivante peut être utilisée :

$$FECB_A = FEB_A \cdot D$$

Les facteurs d'expansion de la biomasse ( $FEB_A$ )<sup>3</sup> utilisent le volume commercialisable pour obtenir le volume de biomasse aérienne total, afin de prendre en compte les éléments non commercialisables de l'accroissement.  $FEB_A$  est non dimensionnel.

Les estimations de  $FECB_A$  pour la biomasse ligneuse (vivace) sur des terres non forestières comme des prairies (savanes), des terres cultivées (agroforesterie), des vergers, des cultures de café, de thé et de caoutchouc peuvent ne pas être disponibles facilement. À ce moment-là, les valeurs par défaut de  $FECB_A$  tirées d'un type de forêts le plus proche de la végétation non forestière peuvent être utilisées pour convertir la biomasse commercialisable en biomasse totale. Les  $FECB_A$  ne sont pertinents que pour la biomasse ligneuse vivace des arbres, pour laquelle des données sur la biomasse commercialisable existent. Pour les arbustes, les herbes et les cultures vivaces, les données d'accroissement de la biomasse en termes de tonnes de matière sèche par hectare peuvent être directement disponibles, et dans ce cas l'équation 2.10 n'est pas nécessaire.

Les données d'accroissement (des fûts) sont également fournies par l'IFN2 pour 17 gouvernorats sur 24.<sup>2</sup> Pour les 7 autres gouvernorats manquants, l'accroissement moyen annuel est repris des gouvernorats limitrophes.<sup>3</sup>

A partir des données d'accroissement des volumes des fûts, il faut passer à l'accroissement en biomasse (aérienne et souterraine), en passant par l'utilisation de coefficients par défauts.

Le facteur d'expansion de la biomasse (FEB) permet de passer des données de fûts exprimées en  $m^3$  au volume total de biomasse aérienne (y compris souches, branches, tiges, etc.). Le facteur de conversion

<sup>2</sup> Les données d'accroissement ont été estimées par l'IFN2 pour seulement 17 gouvernorats.

<sup>3</sup> Ainsi, l'accroissement annuel moyen de Sousse a été appliqué à Monastir. Celui de Mahdia a été appliqué à Sfax, Gabes et Medenine. Celui de Gafsa a été appliqué à Tataouine, Kébili et Tozeur.

permet de passer du m<sup>3</sup> de matière humide à la tonne de matière sèche. Si les deux coefficients ne sont pas disponibles, le GIEC suggère aussi l'utilisation d'un coefficient combinant expansion et conversion (FECB<sub>A</sub>). Ce coefficient permet de convertir les données disponibles, exprimées en m<sup>3</sup> de fûts par ha, en des données de biomasse totale aérienne exprimées en tonnes de matière sèche – TMS. L'utilisation du terme Tx, qui exprime le ratio biomasse racinaire/biomasse aérienne, permet enfin de compléter les calculs en couvrant la totalité de la biomasse aérienne et souterraine.

Le tableau 4.5 du GIEC fournit les données par défaut à utiliser pour ce qui concerne les divers paramètres présents dans les équations.

Zone climatique	Type de forêt	FECB	Niveau de stock en croissance (m <sup>3</sup> )				
			<20	21-40	41-100	100-200	>200
Tempérée	feuillus	BCEF <sub>B</sub>	3,0 (0,8-4,5)	1,7 (0,8-2,6)	1,4 (0,7-1,9)	1,05 (0,6-1,4)	0,8 (0,55-1,1)
		FECB <sub>A</sub>	1,5	1,3	0,9	0,6	0,48
		FECB <sub>E</sub>	3,33	1,89	1,55	1,17	0,89
	pins	BCEF	1,8 (0,6-2,4)	1,0 (0,65-1,5)	0,75 (0,6-1,0)	0,7 (0,4-1,0)	0,7 (0,4-1,0)
		FECB <sub>A</sub>	1,5	0,75	0,6	0,67	0,69
		FECB <sub>E</sub>	2,0	1,11	0,83	0,77	0,77
	autres conifères	FECB	3,0 (0,7-4,0)	1,4 (0,5-2,5)	1,0 (0,5-1,4)	0,75 (0,4-1,2)	0,7 (0,35-0,9)
		FECB <sub>A</sub>	1,0	0,83	0,57	0,53	0,60
		FECB <sub>E</sub>	3,33	1,55	1,11	0,83	0,77
Méditerranéenne, tropicale sèche, subtropicale	feuillus	FECB	5,0 (2,0-8,0)	1,9 (1,0-2,6)	0,8 (0,6-1,4)	0,66 (0,4-0,9)	
		FECB <sub>A</sub>	1,5	0,5	0,55	0,66	
		FECB <sub>E</sub>	5,55	2,11	0,89	0,73	
	Conifères	FECB	6,0 (3,0-8,0)	1,2 (0,5-2,0)	0,6 (0,4-0,9)	0,55 (0,4-0,7)	
		FECB <sub>A</sub>	1,5	0,4	0,45	0,54	
		FECB <sub>E</sub>	6,67	1,33	0,67	0,61	

Les calculs précédents (nombre d'ha x accroissements annuels par ha de la biomasse aérienne et souterraine en TMS) permettent donc d'aboutir à des accroissements annuels de biomasse exprimés en TMS. A partir de ces résultats, il est possible de calculer les quantités de carbone absorbées, en utilisant le coefficient FC qui exprime le nombre de t-C/TMS. Celui suggéré par le GIEC est égal à 0,47.

Les absorptions annuelles de carbone par les forêts tunisiennes sont donc finalement calculées par Gouvernorat, et en séparant conifères et feuillus. Le résultat pour la Tunisie s'est élevé à 236.442 tonnes-C en 2010 ; soit 866 955 tonnes de CO<sub>2</sub>.

### Absorptions de carbone par la biomasse vivante dans les reboisements forestiers

En réalité, il s'agit de reboisements forestiers et pastoraux. Les calculs ont donc été réalisés pour 4 catégories différentes :

- Reboisements sur des terres forestières,
- Reboisements forestiers sur des terres de cultures (essentiellement les brise-vent),
- Reboisements forestiers sur des terres autres (essentiellement plantations des berges et dunes, ainsi que les plantations d'alignement),
- Plantations pastorales.

Pour pouvoir procéder aux estimations des absorptions de carbone de ces reboisements pour l'année 2010, nous avons pu disposer des données des surfaces reboisées par la DGF, année par année, sur la décennie 2001-2010. Le calcul a ensuite consisté à estimer les croissances annuelles de ces reboisements, en se basant un accroissement annuel de la totalité de la biomasse aérienne uniforme de 4 TMS/ha/an. Ce

chiffre représente le facteur d'absorption par défaut du GIEC, à utiliser en cas d'absence d'un tel paramètre en Tunisie sur les accroissements annuels des reboisements.

L'inventaire de l'année 2010 couvrira donc la somme des accroissements annuels en 2010 de tous les reboisements faits de 2001 à 2010.

**TABLEAU 4.12**  
**ESTIMATION DES VALEURS DE LA BIOMASSE AU NIVEAU 1, TIRÉES DES TABLEAUX 4.7–4.11 (EXCEPTÉ TABLEAU 4.11B)**  
**(LES VALEURS SONT APPROXIMATIVES ; A N'UTILISER QUE POUR LE NIVEAU 1)**

Domaine climatique	Zone écologique	Biomasse aérienne des forêts naturelles (tonnes m.s. ha <sup>-1</sup> )	Biomasse aérienne des plantations de forêts (tonnes m.s. ha <sup>-1</sup> )	Croissance nette de la biomasse aérienne des forêts naturelles (tonnes m.s. ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> )	Croissance nette de la biomasse aérienne des plantations de forêts (tonnes m.s. ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> )
Tropical	Forêt dense tropicale	300	150	7,0	15,0
	Forêt décidue humide tropicale	180	120	5,0	10,0
	Forêt sèche tropicale	130	60	2,4	8,0
	Terres arborescentes tropicales	70	30	1,0	5,0
	Système montagneux tropical	140	90	1,0	5,0
Sub-tropical	Forêt humide subtropicale	220	140	5,0	10,0
	Forêt sèche subtropicale	130	60	2,4	8,0
	Steppe subtropicale	70	30	1,0	5,0
	Système montagneux subtropical	140	90	1,0	5,0
Tempéré	Forêt océanique tempérée	180	160	4,4	4,4
	Forêt continentale tempérée	120	100	4,0	4,0
	Système montagneux tempéré.	100	100	3,0	3,0
Boréal	Forêt de conifères boréale	50	40	1,0	1,0
	Terre boisée toundra boréale	15	15	0,4	0,4
	Système montagneux boréal	30	30	1,0	1,0

Le calcul des quantités de biomasse racinaire se fait en se basant sur le terme par défaut  $T_x$ , fixé par le GIEC à 0,4 pour les conifères et 0,46 pour les feuillus, en supposant (sur la base des dires d'expert de la DGF) une répartition égale entre les conifères et les feuillus dans les surfaces reboisées.

Le passage des quantités de matières sèches aux absorptions de carbone se fera en multipliant les TMS des biomasses aériennes et souterraines par le terme FC (0,47).

Les absorptions annuelles de carbone par les reboisements forestiers et pastoraux se sont élevées à 459 155 tonnes-C en 2010 ; soit 1 683 567 tonnes de CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.2.2. Terres agricoles (CRF 3B2)

Le travail le plus important a consisté à rassembler les données de surface (et de nombre de pieds), tout d'abord, ce qui fût relativement facile puisque le ministère de l'agriculture met à jour les statistiques se rapportant à la population des oliveraies et de l'arboriculture au moins une fois tous les 10 ans.

#### Absorptions de carbone par la biomasse vivante des oliveraies

S'agissant des oliveraies, les dernières données disponibles sur le nombre de pieds datent de la campagne 2009-2010, elles ont été donc appliquées directement pour l'inventaire 2010.

Les données des tailles annuelles des oliviers ont été assimilées aux accroissements annuels de biomasse aérienne, en se basant sur la seule référence disponible : «Les sous-produits de l'olivier», datant de 1987 (auteurs : Ali Nefzaoui et M'Naouar Zidani). Ces données sont détaillées selon la région (Nord et Sud), et selon l'âge des oliviers : Jeunes plantations, Plantations adultes et Plantations sénescences.

Pour calculer l'accroissement de biomasse souterraine, on s'est basé sur des avis d'experts, qui ont indiqué que la biomasse souterraine représente habituellement 50% de la biomasse aérienne. A titre de recoupement, ce rapport racinaire/aérienne de 0,5 est donc très proche du même rapport par défaut du GIEC pour les feuillus (0,46).

Pour procéder au passage de l'accroissement annuel en matière humide à l'accroissement en matière sèche, on a utilisé le facteur 0,5 également.

Le calcul de l'absorption de carbone s'est fait ensuite en multipliant les TMS par le terme  $FC = 0,47$ .

Les absorptions annuelles de carbone par les oliveraies se sont élevées à 1 757 741 tonnes-C en 2010 ; soit 6 445 051 tonnes de CO<sub>2</sub>.

### **Absorptions de carbone par la biomasse vivante l'arboriculture**

En ce qui concerne l'arboriculture fruitière, les dernières données disponibles sur le nombre de pieds datent de la campagne 2004-2005. Les données font apparaître le nombre de pieds selon les différents types de fruits (amandiers, palmiers, vignes, agrumes, etc.), et par tranche d'âge (moins de 5 ans, 5-10 ans, 10-20 ans, 20-40 ans, et plus de 40 ans). Grâce aux données par âge, il a été possible d'estimer la population par âge en 2010, en les regroupant en trois classes (1-10 ans, 10-20 ans, et plus de 20 ans).

Comme pour les oliviers, les données des tailles annuelles (tonnes/an) des arbres fruitiers ont été assimilées aux accroissements annuels de biomasse aérienne, en se basant sur des avis d'experts obtenus en 1997, à l'occasion de la réalisation de la seule enquête biomasse-énergie (DGF/SCET) disponible à ce jour.

Ces estimations de tailles annuelles moyennes sont détaillées selon la tranche d'âge : 1-10 ans, 10-20 ans, et plus de 20 ans. Notons cependant que pour tous les arbres de moins de 10 ans, aucune taille n'est opérée, et les accroissements annuels sont donc considérés comme nuls pour cette tranche, et dans tous les cas négligeables. Ceci n'est probablement pas totalement vrai, mais il n'y avait aucune donnée se rapportant à cette tranche d'âge sur les tailles moyennes annuelles, et il a donc fallu simplement ignorer cette tranche d'âge.

Pour calculer l'accroissement de biomasse souterraine, on s'est basé sur le rapport racinaire/aérienne par défaut du GIEC pour les feuillus (0,46).

Pour procéder au passage de l'accroissement annuel en matière humide à l'accroissement en matière sèche, on a utilisé le facteur 0,5 également.

Le calcul de l'absorption de carbone s'est fait ensuite en multipliant les TMS par le terme  $FC = 0,47$ .

Les absorptions annuelles de carbone par les oliveraies se sont élevées à 236 303 tonnes-C en 2010 ; soit 866 444 tonnes de CO<sub>2</sub>.

### **4.2.3. Incertitudes :**

L'approche de détermination et d'estimation des incertitudes est présentée dans le volume 6 du présent guide.

### **4.2.4. Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :**

Les dispositions générales décrites dans le chapitre II du volume introductif sont appliquées.



#### 4.2.5. Améliorations envisagées :

A court terme, il devrait être possible d'améliorer les estimations se rapportant aux accroissements annuels des oliveraies et de l'arboriculture, en rassemblant le maximum d'avis d'experts.

A plus long terme, compte tenu des fortes incertitudes, des améliorations significatives devraient être réalisées sur ces deux postes.

Tout d'abord, il serait utile de lancer des recherches sur les accroissements annuels de biomasse aérienne et souterraine des différents types de reboisements (forestiers, pastoraux, brise-vent, arbres d'alignement), ainsi que sur les coefficients d'expansion et de conversion.

Des marges d'améliorations importantes existent aussi en ce qui concerne la détermination des accroissements annuels de biomasse aérienne et souterraine dans les forêts actuelles et les parcours, en donnant plus de précision aux estimations lors de la réalisation de l'IFN.

Compte tenu des enjeux carbone, il sera également très pertinent de lancer des recherches approfondies sur les accroissements annuels de biomasse aérienne et souterraine des oliveraies et de l'arboriculture fruitière, en se basant non plus sur les tailles annuelles mais plutôt sur les véritables accroissements annuels.





Avec l'appui de :

**Ministère des Affaires Locales et de l'Environnement**  
Cité administrative, rue de développement, cité El Khadra, 1003 Tunis Tunis  
Tél : (+216) 70 243 800 / Fax : (+216) 71 955 360  
[www.environnement.gov.tn](http://www.environnement.gov.tn)



**Programme des nations unies pour le développement (PNUD)**  
Rue du Lac Windermere Imm le Prestige Tour A, RDC, Les Berges du Lac Tunis  
Tél : (+216) 36 011 680 / Fax : (+216) 71 900 668  
[www.tn.undp.org/](http://www.tn.undp.org/)