



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



Secteur des déchets

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

Secteur des déchets

Novembre 2019

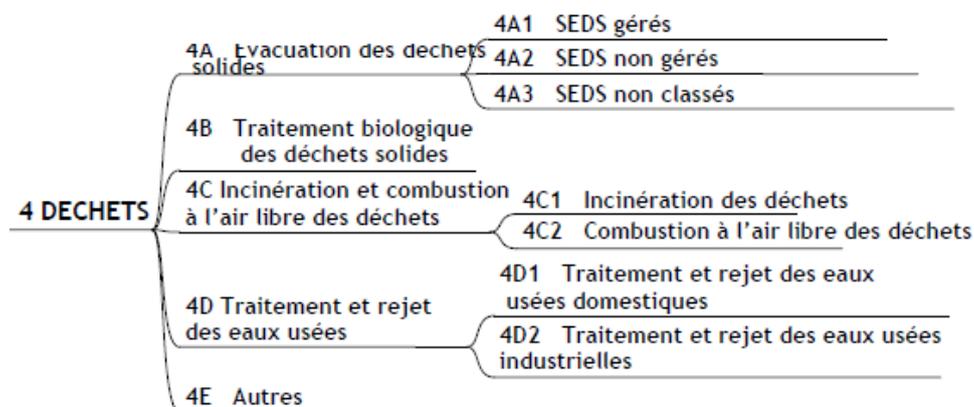
Table des matières

I. Déchets (crf 4)	5
1. Stockage des déchets solides ménagers (4A).....	5
1.1 Caractéristiques de la catégorie :.....	5
1.2 Méthode d'estimation des émissions :.....	5
1.3 Données d'activité :.....	6
1.4 Incertitudes.....	11
1.5 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :.....	11
1.6 Améliorations envisagées.....	11
2. Traitements biologiques des déchets solides (4B).....	11
2.1 Caractéristiques de la catégorie :.....	11
2.2 Méthode d'estimation des émissions :.....	12
2.3 Données d'activité :.....	12
2.4 Facteurs d'émission :.....	12
2.5 Incertitudes.....	13
2.6 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :.....	13
2.7 Améliorations envisagées.....	13
3. Incinération et feux ouverts de déchets (4C) :.....	13
3.1 Caractéristiques de la catégorie :.....	13
3.2 Méthode d'estimation des émissions :.....	13
3.3 Données d'activité :.....	15
3.4 Facteurs d'émission :.....	17
3.5 Incertitudes :.....	19
3.6 Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :.....	19
3.7 Améliorations envisagées :	19
4. Traitement et rejet des eaux usées (4D).....	20
4.1 Caractéristiques de la catégorie	20
4.2 Méthode d'estimation des émissions.....	21
4.3 Incertitudes.....	28
4.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC).....	28
4.5 Améliorations envisagées.....	29
5. Autres traitements (4 E) :.....	29
5.1 Caractéristiques de la catégorie :.....	29
5.2 Méthode d'estimation des émissions.....	29
5.3 Incertitudes.....	30
5.4 Contrôle et assurance qualité (QA/QC):.....	30
5.5 Améliorations envisagées :.....	30

I. Déchets (crf 4)

L'estimation des émissions de GES directs (CO_2 , CH_4 et N_2O) du secteur « Déchets » s'appuie sur les méthodologies présentées dans le volume 5 du GIEC 2006 relatif au secteur des déchets. Les Lignes Directrices 2006 du GIEC définissent la codification des sources couvertes par le secteur « Déchets » comme suit :

Figure 1: Structure du secteur des déchets



Concernant les GES indirects (NO_x , SO_2 , CO et COVNM) du secteur « Déchets », les méthodologies proposées par le guide EMEP/EEA 2013 peuvent être appliquées.

Les approches méthodologiques appliquées pour l'estimation des émissions de GES (Directs et indirects) de chacune des sources sont présentées dans les chapitres suivants.

1. Stockage des déchets solides ménagers (4A)

1.1. Caractéristiques de la catégorie :

Conformément aux prescriptions du Programme National pour la Gestion des Déchets Solides élaboré en 1993, l'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE) a entamé les travaux de réalisation des décharges contrôlées dans l'ensemble des gouvernorats du pays.

La première décharge contrôlée (Djebel Chekir) a ouvert en 1999. En 2007, trois autres décharges contrôlées sont entrées à leur tour en exploitation (Bizerte, Djerba et Gabes), puis 5 autres en 2008 (Monastir, Kairouan, Sousse, Medenine et Sfax) et enfin une en 2009 (Nabeul). A partir de 2010, la Tunisie dispose de 10 décharges contrôlées (Rapport d'activité 2009, ANGED) qui reçoivent plus de 85% des déchets mis en décharge annuellement en Tunisie.

1.2. Méthode d'estimation des émissions :

Les émissions de CH_4 liées au stockage de déchets municipaux et industriels sont calculées sur la base de l'application d'une cinétique d'ordre 1 comme recommandé dans le chapitre 3 du Volume 5 des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

L'application de la méthode est basée à la fois sur des paramètres nationaux (estimation des quantités de déchets stockés, caractérisation des déchets) et des paramètres par défaut proposés par le GIEC (constante de vitesse etc.). Le niveau de méthode correspondant est Tier 2.

Les calculs ont été effectués avec l'outil Excel proposé par le GIEC (IPCC_Waste_Model).

1.3. Données d'activité :

a. Paramètres d'activité :

Les quantités de déchets domestiques, industriels et de soins stockées dans les décharges sont estimées depuis 1950 sur la base de données nationale.

Déchets municipaux stockés en décharges

Conformément à la méthodologie des Lignes Directrices 2006 du GIEC, les quantités de déchets municipaux générés depuis 1950 sont estimées sur la base de la population et d'un taux de génération de déchets par habitant. Dans les conditions climatiques de la Tunisie, l'historique de 60 ans correspond à 12 demi-vies pour les déchets les plus rapidement dégradables (déchets alimentaires qui représentent 68% des déchets stockés) et 2,6 demi-vies pour les déchets les plus lentement dégradables (bois – 3% des déchets stockés).

Les données de population (nombre d'habitants, répartition ruraux/urbains) sont disponibles depuis 1950 auprès de l'Institut National des Statistiques (INS), d'abord sur une base décennale puis annuellement depuis 1990.

Une distinction est réalisée entre la population rurale et la population urbaine auxquels sont appliqués des taux de génération différents.

Le taux de génération des déchets par habitant est extrait d'une étude réalisée en 1990 par le PNUD (Plan Bleu pour la Méditerranée, rapport Tunisie), et présentant un taux de génération de 0,5 kg/hab./jour en moyenne de la population urbaine et rurale. Le taux de génération de 2005, de 1,3 kg/hab./jour des urbains est issue d'une étude menée par l'ANGed sur ses décharges. Les taux de génération historiques antérieurs à 1990, ont été estimés en considérant l'indicateur PIB (disponible auprès de l'INS), sachant que le taux de génération spécifique ne peut pas être inférieur à la valeur de 0,2 kg/hab./jour pour les urbains et 0,1 kg/hab./jour pour les ruraux. Le stockage des déchets est le mode de gestion prédominant en Tunisie. Cependant les experts de l'ANGed considèrent qu'une part des déchets de la population rurale est incinérée (Cf. secteur 4C). Cette quantité, qui correspond à 12% de la quantité de déchets générés par la population rurale (fraction considérée comme constante sur toute la période), est donc retranchée des quantités stockées.

Autres déchets stockés en décharges

Outre les déchets domestiques, des déchets industriels (D_{ind}), des déchets de soins (DAS) et des boues de stations d'épuration ont été historiquement stockés dans les décharges. La part représentée par ces déchets a évolué sur la période du fait notamment du développement économique et de la politique des déchets.

Les quantités des « autres » déchets stockés sont estimées sur la base des résultats d'une étude de diagnostic et de caractérisation des dépotoirs sauvages (décharges non contrôlées) réalisée par l'ANGed en 2005 (Diagnostic et caractérisation des dépotoirs, ANGed, 2005). Cette étude a permis de calculer la part représentée par les déchets industriels, les déchets de soins et les boues de stations d'épuration par rapport aux déchets domestiques stockés, ainsi que sur l'avis d'experts de l'ANGed.

La rétropolation jusqu'à 1950 est réalisée sur la base de divers indicateurs :

- l'évolution de la part de déchets industriels et des déchets de soins est indexée sur l'historique du PIB de la Tunisie,
- l'évolution de la part des boues de stations d'épuration est indexée à la population connectée à une station d'épuration (disponible auprès de l'ONAS).

L'extrapolation entre 2005 et 2010 est faite en considérant qu'à partir de 2008, suite à l'ouverture de 5 décharges contrôlées, il n'y a plus de déchets de soins ou de boues stockées en décharges non contrôlées. L'extrapolation de la part des déchets industriels est estimée sur la base des données relatives au PIB.

La composition des déchets est issue d'une étude de l'ANGed menée en 2007 (étude de faisabilité pour la

réalisation d'une deuxième décharge contrôlée pour le grand Tunis, ANGED). C'est cette même composition qui est exploitée dans le cadre des projets MDP sur les décharges contrôlées.

Tableau 1: Composition des déchets

	Matière organique	Papier	Textile	Cuir et caoutchouc	Plastique	Métaux	Autres
Fraction	68%	10%	2%	2%	11%	4%	3%

La répartition des quantités stockées par type de décharges (contrôlées/non contrôlées) est réalisée sur la base de la connaissance des quantités entrant dans les décharges contrôlées (pesée en entrée des sites). Dans ces décharges contrôlées, les déchets sont déposés dans des alvéoles et compactés. Une fois les alvéoles remplies, équipées d'un système de captage, sont couvertes. Les décharges contrôlées de Tunisie sont donc de type anaérobie. La différence avec les quantités stockées est attribuée aux décharges non contrôlées.

La répartition des quantités stockées dans les décharges non contrôlées par profondeur (inférieure ou supérieure à 5 mètres) est réalisée sur la base de l'étude de diagnostic des dépotoirs réalisée par l'ANGED (Diagnostic et caractérisation des dépotoirs, ANGED, 2005). Cette étude portant sur une vingtaine de dépotoirs, a permis de calculer que 68% des déchets stockés en 2005 dans des dépotoirs le sont dans des sites de profondeur inférieure à 5 mètres. Faute de pouvoir renseigner ce paramètre plus finement cette valeur est appliquée sur toute la série temporelle.

Tableau 2: Illustration des paramètres d'activité du modèle de calcul utilisé pour la Tunisie pour l'évaluation des émissions imputables au stockage de déchets solides

Année	Population totale	Part de la population en zone urbaine	Taux moyen de génération des déchets des habitants (urbains + ruraux)	Taux de génération des déchets des habitants urbains	Taux de génération des déchets des habitants ruraux	Total MSW généré par la population totale	Quantité de déchets (OM + Dind + DAS) entrant dans les Décharges gérées	Quantité de déchets (OM + Dind) entrant dans les Décharges non contrôlées	Quantité de boues stockées en décharges non gérées	Part des déchets stockés en décharges gérées (%)
	hab	%	kg/hab/jour	kg/hab/jour	kg/hab/jour	Gg	Gg	Gg	Gg	
1950	3 435 574	29,06%	0,14	0,20	0,11	173	0	154	0,0	0,0%
1955	3 720 997	32,33%	0,14	0,20	0,11	191	0	171	0,0	0,0%
1960	4 056 467	35,77%	0,14	0,20	0,11	213	0	192	0,1	0,0%
1965	4 447 668	39,37%	0,15	0,20	0,11	239	0	217	0,5	0,0%
1970	4 961 389	43,35%	0,18	0,27	0,11	323	0	296	1,2	0,0%
1975	5 588 209	47,50%	0,23	0,35	0,12	472	0	438	2,7	0,0%
1980	6 307 366	50,45%	0,31	0,46	0,16	712	0	671	5,5	0,0%
1985	7 120 754	53,64%	0,41	0,56	0,24	1 069	0	1 022	12,1	0,0%
1990	7 980 149	57,79%	0,50	0,65	0,29	1 456	0	1 411	21,0	0,0%
1995	8 889 362	61,42%	0,60	0,76	0,34	1 941	0	1 917	53,2	0,0%
2000	9 437 175	63,36%	0,71	0,88	0,40	2 436	550	1 927	109,5	22,2%
2005	10 011 555	65,16%	0,84	1,03	0,47	3 052	672	2 512	163,0	21,1%
2010	10 536 174	66,60%	0,98	1,20	0,55	3 782	1 770	2 133	0,0	45,4%
2011	10 645 513	66,88%	1,02	1,24	0,56	3 949	1 467	2 623	0,0	35,9%
2012	10 756 375	67,16%	1,05	1,28	0,58	4 122	1 505	2 783	0,0	35,1%
2013	10 868 781	67,44%	1,08	1,32	0,60	4 304	1 441	2 520	0,0	36,4%
2014	10 982 754	67,72%	1,12	1,36	0,62	4 493		3 954		

b. Paramètres de la cinétique :

Les constantes de vitesse de la cinétique de dégradation dépendent, pour chaque type de déchets, des conditions climatiques (température, humidité) du pays. Le climat de la Tunisie est très contrasté entre le nord et le sud : le nord présente un climat tempéré (température moyenne annuelle de 18,4°C à Tunis) plus humide mais le GIEC (GPG LULUCF 2003, chap. 3) classe l'ensemble de la Tunisie comme tempéré sec.

Figure 3.1.3 Delineation of major climate zones, updated from the IPCC Guidelines. Temperature zones are defined by mean annual temperature (MAT): Polar/boreal (MAT<0 °C), Cold temperate (MAT 0-10 °C), Warm temperate (MAT 10-20 °C) and Tropical (MAT>20 °C). Moisture regimes for boreal and temperate zones are defined by the ratio of mean annual precipitation (MAP) and potential evapotranspiration (PET): Dry (MAP/PET < 1) and Wet (MAP/PET > 1); and for tropical zones by precipitation alone: Dry (MAP < 1000 mm), Moist (MAP 1000-2000 mm) and Wet (MAP > 2000 mm). Precipitation and temperature data are from UNEP-GRID.

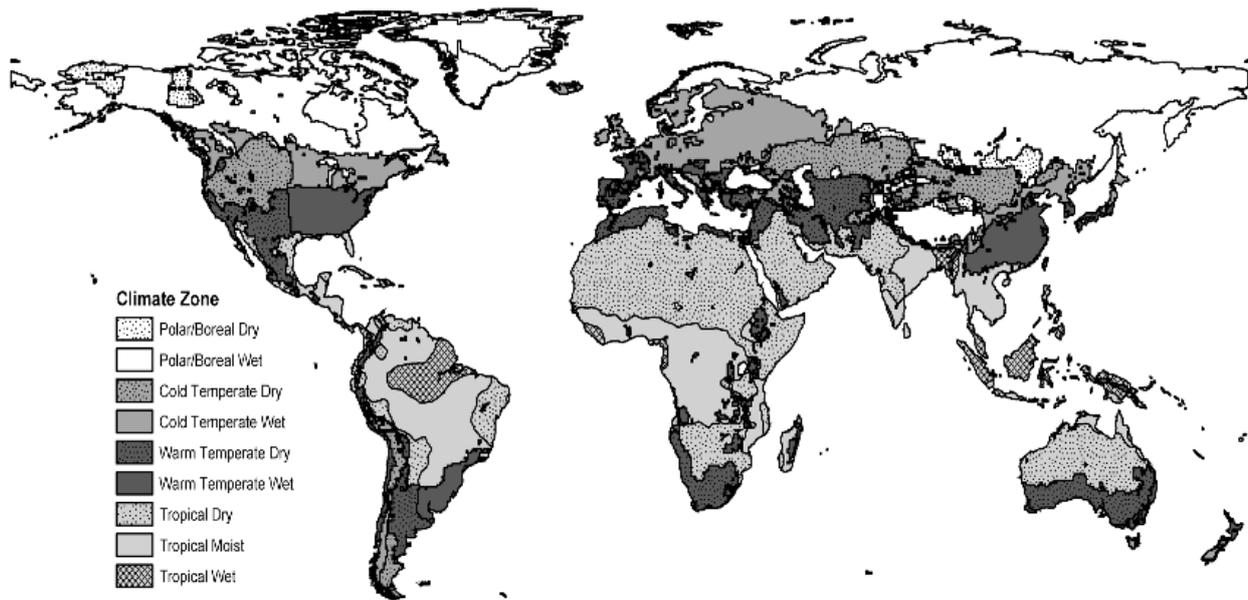


Figure 2 : Zones climatiques (GPG LULUCF 2003)

L'application de la méthode est basée à la fois sur des paramètres nationaux (estimation des quantités de déchets stockés, caractérisation des déchets, zones climatiques) et des paramètres par défaut proposés par le GIEC (constante de vitesse, etc.). L'inventaire 2010 avait considéré la Tunisie comme faisant partie d'une seule région géographique « tempérée sèche », comme préconisé par le GIEC 2006.

Le niveau de méthode utilisé correspondant est Tier 2.

La majorité de la population et les décharges les plus importantes (en termes de quantités stockées) se concentrent dans le nord de la Tunisie, en particulier les décharges contrôlées. C'est pourquoi les conditions climatiques du nord du pays avaient été retenues pour l'application de la cinétique de dégradation dans l'inventaire 2010.

L'impact des conditions climatiques sur les quantités de CH₄ émis annuellement est important (via les constantes de vitesse). Etant donné le fort contraste climatique entre le nord et le sud de la Tunisie, il a été décidé, dans l'optique de l'amélioration de l'approche de calcul, de vérifier sur la base des données locales (température moyenne annuelle, précipitation et évapotranspiration potentielle) si 2 zones climatiques distinctes devaient être considérées pour l'application de l'outil Excel de l'IPCC. Si tel devait être le cas, cette étape nécessiterait de définir l'ensemble des paramètres d'entrée selon cette même répartition géographique, ce qui induit en particulier d'affiner les données de population par gouvernorat et les quantités de déchets entrant par décharge.

Ainsi, pour les inventaires 2011 et 2012, et dans une optique d'amélioration des approches de calcul, deux zones climatiques avaient été distinguées (une zone sèche tempérée et une zone sèche tropicale). Ce choix induit l'utilisation de constantes de vitesse de dégradation différentes, comme le montrent le Tableau 3 (zone sèche tempérée), et le Tableau 4 (zone sèche tropicale).

Tableau 3: Constantes de vitesse utilisées pour les régions nord de la Tunisie (zone sèche tempérée)

Methane generation rate constant (k) (years-1)	Dry Temperate	
	Range	Default
Food waste	0.05–0.08	0,06
Garden	0.04–0.06	0,05
Paper	0.03–0.05	0,04
Wood and straw	0.01–0.03	0,02
Textiles	0.03–0.05	0,04
Disposable nappies	0.04–0.06	0,05
Sewage sludge	0.05–0.08	0,06
Industrial waste	0.04–0.06	0,05

Tableau 4: Constantes de vitesse utilisées pour les régions sud de la Tunisie (zone sèche tropicale)

Methane generation rate constant (k) (years-1)	Dry Tropical	
	Range	Default
Food waste	0.07–0.1	0,085
Garden	0.05–0.08	0,065
Paper	0.04–0.06	0,045
Wood and straw	0.02–0.04	0,025
Textiles	0.04–0.06	0,045
Disposable nappies	0.05–0.08	0,065
Sewage sludge	0.07–0.1	0,085
Industrial waste	0.05–0.08	0,065

L'approche de calcul s'est basée, comme précisé précédemment, sur la base des populations respectives des deux « régions ». En ce qui concerne les décharges contrôlées, les quantités réelles déposées en décharge ont été utilisées. L'affectation pour une région ou une autre est faite selon les emplacements respectifs des décharges contrôlées

Les autres paramètres par défaut de l'outil Excel proposé par le GIEC ont été conservés :

- Le Contenu Organique Dégradable (COD) de chaque catégorie de déchets par défaut par les Lignes Directrices du GIEC 2006 sont retenues
- La fraction de COD qui se dégrade : $COD_f = 50\%$
- La fraction de CH₄ dans le biogaz : 50%
- Le facteur d'oxydation : $O_x = 0$ (bien que les décharges contrôlées soient recouvertes d'une couverture de sol, la valeur 0 est conservée car elle s'applique aux décharges non contrôlées aussi bien qu'aux décharges contrôlées)
- Les MCF proposés par défaut par les Lignes Directrices du GIEC 2006 sont retenues

Tableau 6: MCF retenus par catégorie de décharges

	Non contrôlées - peu profondes	Non contrôlées - profondes	Contrôlées - anaérobies	Contrôlées - semi-anaérobies	Non catégorisés
MCF	0,4	0,8	1	0,5	0,6

c. Quantité de CH₄ capté (R) :

Des quantités de CH₄ ont commencé à être captées et torchées à partir de 2008. Ces données de quantités de CH₄ sont particulièrement bien documentées dans la mesure où cette action s'inscrit dans le cadre de projets MDP.

Le calcul des émissions de COVNM a été réalisé sur la base du FE de 5,65 g/m³ de biogaz, proposé dans le guide EMEP/EEA 2009 (5.A Stockage des déchets solides, EMEP/EEA 2009).

1.4. Incertitudes

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

1.5. Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :

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

Des dispositions particulières sont aussi mises en œuvre :

- Des échanges ont eu lieu avec les experts en charge des catégories « incinération et feux ouverts » pour utiliser des données cohérentes (composition des déchets, quantités brûlées etc.).
- Les valeurs nationales ont été comparées aux facteurs proposés par défaut par l'IPCC, notamment les taux de génération par habitant et la composition afin de s'assurer de la cohérence des données utilisées.

1.6. Améliorations envisagées

Le taux de génération de déchets par habitant pourrait être mis à jour, notamment à travers une enquête auprès de la population.

La composition des déchets mis en décharges pourrait également être actualisée sur la base d'une campagne de mesure en entrée des décharges.

2. Traitements biologiques des déchets solides (4B)

2.1. Caractéristiques de la catégorie :

Compostage (4B1)

L'expérience tunisienne en matière de mise en œuvre d'unités de compostage a commencé dès les années 90 avec des projets pilotes et s'est développée au milieu des années 2000 avec l'ouverture d'unités à caractère de service centralisé (recevant plusieurs types de substrats de plusieurs producteurs).

Cette activité, est régie par l'ANGed à travers l'obligation de signature d'un cahier de charges par les opérateurs des unités spécialisées et des unités appartenant à des industries agro-alimentaires compostant

les déchets de leurs activités et par l'approbation de l'étude d'impact sur l'environnement par l'ANPE. Durant les dernières années, le nombre d'unité de compostage a diminué en Tunisie à cause de problème de commercialisation du compost dont le prix est élevé. En 2010, lors de la réalisation de l'inventaire 2010, l'ANGed avait répertorié 3 sites de compostage de déchets.

Digestion anaérobie (4B2)

Cette activité n'est pas pratiquée de façon opérationnelle en Tunisie.

2.2. Méthode d'estimation des émissions :

Compostage (4B1)

Les émissions de CH₄ et N₂O liées au compostage de déchets sont estimées suivant les recommandations du chapitre 4 du volume 5 du GIEC 2006 relatif au traitement biologique des déchets solides. L'estimation est réalisée selon le niveau de méthodologie **Tier 1**. Cette méthode repose sur les équations 4.1 et 4.2 du chapitre 4 du volume 5 du GIEC 2006 synthétisées comme suit :

$$\text{Emissions CH}_4 = M * EF_{\text{CH}_4} * 10^{-3}$$

$$\text{Emissions N}_2\text{O} = M * EF_{\text{N}_2\text{O}} * 10^{-3}$$

Avec

Emissions CH₄ : total des émissions de CH₄ de l'année d'inventaire, Gg CH₄,

M: masse de déchets organiques traités par compostage, Gg,

EF_{CH₄} : facteur d'émission de CH₄ pour le compostage, g CH₄/kg déchets compostés,

Emissions N₂O : total des émissions de N₂O de l'année d'inventaire, Gg CH₄,

EF_{N₂O} : facteur d'émission de N₂O pour le compostage, g CH₄/kg déchets compostés.

2.3. Données d'activité :

Compostage (4B1)

Pour le calcul de ces émissions conformément à la méthodologie, il est nécessaire d'accéder aux informations relatives à la production de compost par toutes les unités de traitement référencées, ainsi que les types de déchets traités.

2.4. Facteurs d'émission :

Compostage (4B1)

Les facteurs d'émissions utilisés sont ceux du GIEC et qui sont fixés :

- Pour le CH₄ = 4 g CH₄/kg déchets compostés sur base de poids humide.
- Pour le N₂O = 0,3 g N₂O/kg déchets compostés sur base de poids humide.

Les émissions de CO₂, intégralement d'origine biogénique, ne sont pas comptabilisées dans les émissions.

Les facteurs d'émission proposés par le GIEC sont relatifs à des déchets avec un contenu Organique dégradable compris entre 25 et 50%, une teneur en azote de 2% et une humidité de 60%. Ces caractéristiques sont compatibles avec celles des déchets traités dans les unités de compostage considérés (mélanges de déchets de l'industrie agroalimentaire, déchets verts etc.).

2.5. Incertitudes

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

2.6. Contrôle et assurance qualité (qa/qc) :

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

Des dispositions particulières sont aussi mises en œuvre :

- Des échanges (mise en commun des données et des supports bibliographiques) ont lieu avec les responsables du secteur « agriculture » pour s'assurer qu'il n'y ait pas de double compte entre les deux secteurs.

2.7. Améliorations envisagées

L'exhaustivité des sites référencés par l'ANGed devra être vérifiée et si besoin la liste devra être complétée.

3. Incinération et feux ouverts de déchets (4C) :

3.1. Caractéristiques de la catégorie :

Incinération (4C1)

En Tunisie, depuis les années 2000, le seul type de déchets à être incinérés sont les déchets d'activité de soins à risque infectieux (DASRI). Toutefois, au fil des années, le nombre d'incinérateurs, tous basés dans les établissements hospitaliers, s'est nettement réduit. En effet, l'Etat tunisien a appelé plusieurs de ces établissements à fermer leurs incinérateurs à cause de leurs états défectueux et de ne reprendre cette activité qu'après mise à niveau de leurs installations d'incinération. A titre illustratif, en 2010, seuls les DASRI correspondant à 77 lits étaient encore incinérés in situ.

Feux ouverts (4C2)

En Tunisie, les déchets sont souvent brûlés à l'air libre ou incinérés dans le but de valorisation énergétique, mais sans respect des pratiques en vigueur dans ce domaine. C'est le cas de la combustion des pneus dans les briqueteries et les hammams, et dont les émissions sont rapportées dans le secteur de l'énergie. Les experts des déchets au sein de l'ANGed ont identifié les sources d'émissions suivantes pour les feux ouverts de déchets :

- Feux ouverts des déchets domestiques de la population rurale,
- Feux ouverts des DASRI,
- Feux ouverts des déchets verts.

3.2. Méthode d'estimation des émissions

Les activités de la catégorie 4C génèrent des émissions de CO₂, CH₄ et N₂O. L'estimation des quantités de GES émis se fait conformément au chapitre 5 du volume 5 du GIEC 2006 relatif à l'incinération et la combustion à l'air libre des déchets. Les équations proposées s'appliquent pour l'incinération (4C1) et pour les feux ouverts (4C2). Les deux activités se distinguent par le choix des paramètres et des FE par défaut à appliquer.

L'estimation des émissions de CO₂ est basée sur le niveau de méthodologie Tier 2a et par l'application de l'équation 5.1 du chapitre susmentionné basée sur le volume total des déchets brûlés.

$$\text{Emissions CO}_2 = \sum_i (SW_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * 44/12$$

Avec :

Emissions CO₂ : émissions de CO₂ dans l'année de l'inventaire, *Gg/an*,

SW_i : volume total de déchets solides de type i (poids humide) incinérés ou brûlés à l'air libre, *Gg/an*,

dm_i : teneur en matière sèche du déchet (poids humide) incinéré ou brûlé à l'air libre, *fraction*,

CF_i : fraction de carbone dans la matière sèche (teneur totale en carbone), *fraction*,

FCF_i : fraction de carbone fossile dans le total de carbone, *fraction*,

OF_i : facteur d'oxydation, *fraction*,

44/12 : coefficient de conversion, *fraction*,

i : type de déchets incinérés/brûlés à l'air libre.

L'estimation des émissions de CH₄ est faite à travers le niveau de méthodologie Tier 1 basée sur l'équation 5.4 du chapitre 5 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

$$\text{Emissions CH}_4 = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

Avec

Emissions CH₄ : émissions de CH₄ dans l'année de l'inventaire, *Gg*,

IW_i : volume de déchets solides de types i incinérés ou brûlés à l'air libre, *Gg/an*,

EF_i : facteur d'agrégat des émissions de CH₄, *kg CH₄/Gg de déchets*,

i : catégorie ou type de déchets incinérés/brûlés à l'air libre.

Pour les émissions de N₂O, le calcul s'est conformément au niveau de la méthodologie Tier 1 résumé dans l'équation 5.5 du chapitre 5 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

$$\text{Emissions N}_2\text{O} = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

Avec

Emissions N₂O : émissions de N₂O dans l'année de l'inventaire, *Gg*,

IW_i : volume de déchets solides de types i incinérés ou brûlés à l'air libre, *Gg/an*,

EF_i : facteur d'émission de N₂O, *kg N₂O/Gg de déchet*,

i : catégorie ou type de déchets incinérés/brûlés à l'air libre.

L'incinération et les feux ouverts de déchets est également source d'émissions de GES indirects, à savoir : NO_x, SO₂, COVNM et CO. Les émissions de ces polluants, sont estimées sur la base des méthodologies proposées dans le guide EMEP/EEA 2013.

La méthodologie d'estimation des émissions de GES indirects se résume dans l'équation suivante :

$$\text{Emissions polluant}_j = IW_i * EF_{\text{polluant}j}$$

Avec

Emissions polluant_j : émissions de polluant de type j dans l'année de l'inventaire, *Gg*,

IW_i : volume de déchets solides de types i incinérés ou brûlés à l'air libre, *Gg/an*,

EF_{polluantj} : facteur d'émission du polluant j, *kg polluant/Gg de déchets*,

i : catégorie ou type de déchets incinérés/brûlés à l'air libre,

3.3. Données d'activité

Incinération (4C1)

L'estimation des quantités de DASRI incinérés est basée sur plusieurs paramètres disponibles auprès de l'ANGED : la capacité des lits des établissements incinérant les DASRI, le taux de production de DASRI par lit ainsi que le taux d'occupation des lits hospitaliers (public et privé) pour l'année en question.

$$IW_{\text{DASRI,incinéré}} = NL_{\text{Incinérateur}} * T_{\text{DASRI}} * TO * 10^{-6}$$

Avec

IW_{DASRI,incinéré} : Volume de DASRI incinérés, *Gg/an*,

NL_{incinérateur} : nombre de lits dans les établissements hospitaliers incinérateurs de DASRI, *nombre*,

T_{DASRI} : taux de production de DASRI par lit hospitalier, *kg DASRI/lit*,

TO : taux d'occupation des lits hospitaliers pour l'année de l'inventaire, *fraction*.

Feux ouverts (4C2)

a. Déchets domestiques de la population rurale

Les experts tunisiens du secteur des déchets solides estiment qu'une part non négligeable des déchets domestiques de la population rurale est brûlée à l'air libre.

Pour déterminer le volume des déchets solides ruraux brûlés à l'air libre, l'équation 5.7 du chapitre 5 du volume 5 du GIEC 2006 a été appliquée :

$$MSW_B = P * P_{\text{frac}} * MSW_p * B_{\text{frac}} * 365 * 10^{-6}$$

Avec

MSW_B : volume total de déchets solides municipaux brûlés à l'air libre, *Gg/an*,

P : population, *habitants*,

P_{frac} : fraction de la population qui brûle ses déchets

MSW_p : production des déchets par habitant, *kg déchet/habitant/jour*,

B_{frac} : fraction du volume de déchets brûlés par rapport au volume total de déchets traités, *fraction*,

La fraction de la population qui brûle ses déchets (P_{frac}) a été obtenue sur avis des experts du secteur au sein de l'ANGed qui estiment que 20% des déchets de la population rurale ne sont pas collectés et sont brûlés. Cette fraction a été appliquée à la population rurale tunisienne.

L'hypothèse sur la valeur de la fraction du volume de déchets brûlés (B_{frac}) présentée dans l'exemple des Lignes Directrices 2006 du GIEC (Box 5.1, chapitre 5, Volume 5) a été retenue et une valeur de 60% a été appliquée.

b. Déchets d'activité de soins à risque infectieux

Les DASRI sont soit incinérés, quoi qu'en petite quantité, soit traités par autoclavage soit brûlés à l'air libre. C'est cette dernière activité qu'on traite dans cette section.

La quantité des DASRI brûlés à l'air libre est estimée par déduction de la quantité totale de DASRI générés durant une année donnée, la quantité incinérée ainsi que la quantité traitée par autoclavage dans les unités spécialisées. La quantité totale de DASRI produits peut être obtenue grâce à la capacité totale des établissements hospitaliers, le taux de production de DASRI par lit et le taux d'occupation moyen des lits hospitaliers lors de la même année.

$$IW_{DASRI,FO} = (NL_{TOT} * T_{DASRI} * TO * 10^{-6}) - IW_{DASRI,incinéré} - IW_{DASRI,traité}$$

Avec

$IW_{DASRI,FO}$: Volume de DASRI brûlés à l'air libre, *Gg/an*,

NL_{TOT} : nombre de lits dans les établissements hospitaliers tunisiens de DASRI, *nombre*,

T_{DASRI} : taux de production de DASRI par lit hospitalier, *kg DASRI/lit*,

TO : taux d'occupation des lits hospitaliers pour l'année de l'inventaire, *fraction*,

$IW_{DASRI,incinéré}$: Volume de DASRI incinérés, *Gg/an*,

$IW_{DASRI,traité}$: Volume de DASRI traités par autoclavage, *Gg/an*.

c. Déchets verts des espaces verts urbains

Selon les experts de l'ANGed, les déchets verts des espaces verts urbains ne partent pas en décharges, mais sont plutôt dispersés, traités biologiquement ou brûlés à l'air libre.

La quantité des déchets verts brûlés à l'air libre est estimée par l'ANGed en s'appuyant sur les éléments suivants : la population urbaine, le ratio d'espaces verts par habitant urbain, le taux de déchets des espaces verts urbains et la part des déchets verts brûlés à l'air libre.

$$IW_{DVU,FO} = P_{urbaine} * T_{EVU} * T_{DVU} * P_{DVU,FO} * 10^{-6}$$

Avec

$IW_{DVU,FO}$: volume des déchets des espaces verts urbains brûlés à l'air libre à l'année de l'inventaire, *Gg*,

$P_{urbaine}$: population urbaine, *habitant*,

T_{EVU} : Taux d'espace vert urbain par habitant, *m²/habitant*,

T_{DVU} : Taux déchets des espaces verts urbains, *kg/m²*,

$P_{DVU,FO}$: Part des déchets verts des espaces urbains à être brûlés à l'air libre à l'année de l'inventaire basé sur avis d'experts sectoriels, *fraction*.

La part des déchets verts des espaces urbains à être brûlés à l'air libre ($P_{DVU,FO}$) est basée sur l'avis d'experts sectoriels de l'ANGed, qui considèrent que 5% des déchets verts issus de l'entretien des espaces verts urbains sont brûlés.

Les autres paramètres (T_{EVU} , T_{DVU}) sont issus d'une étude nationale réalisée par l'ANGed.

3.4. Facteurs d'émission

Incinération (4C1)

Le facteur d'émission de CO_2 pour l'incinération des DASRI est calculé sur la base des données par défaut proposées pour les déchets de soins dans le tableau 5.2 du chapitre 5 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC. Faute de donnée relative à la teneur en matière sèche des déchets de soins, l'hypothèse majorante est considérée ($Dm = 100\%$)

Les paramètres retenus pour l'équation 5.1 sont donc les suivants :

Paramètres (%)	Dm	CF	FCF	OF pour l'incinération
Déchets des hôpitaux et des cliniques	100%	60%	40%	100%

Le FE de CO_2 déduit est de 880 kg CO_2 /t DASRI incinéré.

Les incinérateurs de DASRI de Tunisie sont des fours à grille fonctionnant en mode batch. Pour le calcul des émissions de CH_4 , faute de valeur par défaut spécifique aux DASRI ou aux déchets de soins, les DASRI ont été assimilés aux déchets solides municipaux. Le facteur d'émission appliqué est celui proposé dans le tableau 5.3 du chapitre 5 du volume 5 du GIEC et est de 60 kg CH_4 /Gg DASRI incinéré.

En absence de donnée sur le facteur d'émission de N_2O pour l'incinération des déchets de soin, le facteur d'émission des déchets industriels (quel que soit le type d'incinérateur) proposé par le GIEC dans le tableau 5.6 du chapitre 5 du volume 5 pourra être appliqué. Le facteur d'émission de N_2O retenu est donc de 100 kg N_2O /t DASRI incinéré.

Par ailleurs, pour l'estimation des émissions de GES indirects, les facteurs d'émission proposés par défaut dans le guide EMEP/EEA 2013 peuvent être appliqués et sont listés comme suit :

Tableau 6 : Facteurs d'émission de polluants appliqués à l'incinération des DASRI

GES Indirect	NOx	SO ₂	CO	COVNM
Facteur d'émission (kg/t DASRI)	2,3	0,54	0,19	0,7

Feux ouverts (4C2)

a. Déchets domestiques de la population rurale

Le facteur d'émission pour le CO_2 est estimé sur la base de l'équation 5.2 des Lignes Directrices 2006 du GIEC 2006 appliquée à la composition des déchets municipaux tunisiens disponible auprès de l'ANGed. Les paramètres par défaut (dm, CF, FCF etc.) du tableau 2.4 du chapitre 2 du volume 5 sont appliqués.

Tableau 8 : Caractéristiques des diverses catégories de déchets

	Composition des déchets (%)	Teneur en matière sèche dm (%)	Fraction de carbone CF (%)	Part du C d'origine fossile FCF (%)	Facteur d'oxydation FO (%)
Déchets alimentaires	68%	40%	38%	0%	58%
Papier, carton	10%	90%	46%	1%	58%
textile	2%	80%	50%	20%	58%
Bois	3%	50%	50%	0%	58%
cuir, caoutchouc	2%	84%	67%	20%	58%
plastique	11%	100%	75%	100%	58%
autres non combustibles (métaux, verre, céramique...)	4%	100%			58%

Le FE de CO₂ déduit est de 185 kg CO₂/t de déchets domestiques brûlés.

Pour les feux ouverts de déchets municipaux, le facteur d'émission de CH₄ de 6,5 kg CH₄/t de déchets domestiques (en matières humides) est appliqué. Ce facteur est recommandé dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC

Concernant le N₂O, les Lignes Directrices 2006 du GIEC proposent d'appliquer une valeur relative aux feux de résidus agricoles. Un FE de 0,15 kg N₂O/t de déchets domestiques (en matière sèche) est donc appliqué.

En absence de données spécifiques sur les émissions de polluants issus des feux ouverts des déchets ménagers dans le guide EMEP/EEA 2013, les facteurs d'émission issus d'une campagne de mesure réalisée en 2004 par l'Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS) en France peuvent être appliqués. Ces facteurs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Facteurs d'émission de polluants appliqués aux feux ouverts de déchets domestiques

GES Indirect	NOx	SO ₂	CO	COVNM
Facteur d'émission (kg/t déchets)	21,2	12	2,44	11,9

b. Déchets d'activité de soins à risque infectieux

Comme pour l'incinération des DASRI, le facteur d'émission de CO₂ pour les DASRI peut être calculé grâce aux données par défaut fournies par le tableau 5.2 du chapitre 5 du volume 5 du GIEC 2006. Ces données sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Pour les feux ouverts des DASRI, un facteur d'émission de CH₄ de 6,5 kg CH₄/t de déchets peut être utilisé. Ce facteur a été établi par le GIEC pour les déchets municipaux. Cette valeur a été retenue dans la mesure où il n'existe pas de donnée spécifique à la combustion à l'air libre des DASRI.

Le GIEC 2006 a établi un facteur d'émission de 0,15 kg N₂O/t de résidus agricoles. En absence de donnée sur le N₂O pour les déchets de cliniques, la valeur du GIEC est retenue.

En l'absence de données spécifiques sur les émissions de polluants des feux ouverts des déchets de soins dans le guide EMEP/EEA 2013, les facteurs d'émission des déchets domestiques sont appliqués. Ces facteurs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Facteurs d'émission de polluants appliqués aux feux ouverts de déchets de soins

GES Indirect	NOx	SO ₂	CO	COVNM
Facteur d'émission (kg/t déchets)	21,2	12	2,44	11,9

c. Déchets verts des espaces verts urbains

Conformément aux lignes directrices du GIEC, les émissions de CO₂ d'origine biogénique ne sont pas comptabilisées en tant qu'émissions..

Comme pour les feux ouverts de DASRI et de déchets municipaux, le facteur d'émission de CH₄ utilisé est de 6,5 kg CH₄/t de déchets et le facteur d'émission de N₂O est de 0,15 kg N₂O/t de déchets.

Les facteurs d'émissions des gaz à effet de serre indirects sont issus du chapitre «Combustion à l'air libre des déchets» du guide EMEP/EEA 2013.

Tableau 10 : Facteurs d'émission de polluants appliqués aux feux ouverts de déchets verts

GES Indirect	NOx	SO ₂	CO	COVNM
Facteur d'émission (kg/t déchets)	3,18	0,11	55,83	1,23

3.5. Incertitudes

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

3.6. Contrôle et assurance qualité (QA/QC) :

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

Des dispositions particulières sont aussi mises en œuvre :

- Des échanges doivent avoir lieu avec les experts en charge des « décharges » pour s'assurer qu'il n'y ait pas de double compte entre les deux sources (les quantités de déchets domestiques brûlés ne sont pas considérées dans les quantités stockées).
- Des échanges doivent avoir lieu avec les experts en charge du secteur énergie pour s'assurer que les déchets brûlés avec récupération d'énergie sont bien considérés parmi les combustibles (cas des pneus), et que la composition des déchets municipaux utilisée est la même.

3.7. Améliorations envisagées

L'estimation des quantités de déchets brûlés à l'air libre (gestion domestique des déchets ménagers, part des déchets verts municipaux etc.) pourrait être affinée par exemple au travers des enquêtes auprès des particuliers (en particulier la population rurale) ou de la direction des parcs urbains ou la direction de la propreté et de l'environnement

4. Traitement et rejet des eaux usées (4D)

4.1. Caractéristiques de la catégorie

Eaux domestiques (4D1)

En Tunisie, les eaux usées domestiques sont soit traitées dans les stations d'épurations de l'Office National de l'Assainissement (ONAS), soit traitées de façon autonome en fosses septiques, soit rejetées directement dans le milieu naturel. Les activités émettrices identifiées pour cette catégorie sont détaillées ci-dessous.

- Le traitement des eaux usées et boues dans les STEP de l'ONAS et rejet des effluents

L'ONAS gère un parc de plus de 100 Stations d'Épuration (STEP). Ces STEP reçoivent des eaux usées domestiques, touristiques et industrielles. L'ONAS dispose d'une base de données centralisée détaillée de ces STEP. Pour chacune d'entre elles, les informations sur la description des stations (procédé mis en œuvre, capacité, population connectée etc.), mais aussi sur divers paramètres de suivi (BDO5 en entrée et sortie, azote total en entrée et en sortie, quantité de boues générées, etc.).

Des informations complémentaires sur les filières de valorisation (agriculture, golfs, espaces verts) des eaux épurées ainsi que sur les exutoires des effluents de chacune des STEP sont disponibles à l'ONAS.

A titre illustratif, en 2010, 55% de la population nationale évacuent leurs eaux usées vers les STEP. Il existe une forte disparité entre la population urbaine (dont 84% sont connectées aux STEP) et la population rurale (dont 2% sont connectées aux STEP).

- Les eaux usées traitées de façon autonome en fosses septiques

Selon les experts du secteur, tous les ménages non connectés aux STEP évacuent leurs eaux usées en fosses septiques. D'autre part, une étude sur la stratégie d'assainissement menée par l'ONAS en soutien à la DG Environnement de la Commission Européenne (Initiative de Dépollution de la Méditerranée «Horizon 2020», CE, 2006) dans les régions rurales a montré que 23% de la population rurale déverse les eaux usées dans les fosses septiques.

- Rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel

L'étude sur la stratégie d'assainissement menée par l'ONAS a également révélé que 75% de la population rurale déverse ses eaux usées directement dans le milieu naturel.

Eaux industrielles et commerciales (4D2)

En Tunisie, les eaux usées industrielles, sont traitées soit in-situ chez l'industriel (puis les eaux pré-traitées sont directement rejetées dans le milieu naturel ou orientées vers une STEP), soit dans les STEP de l'ONAS, et peuvent, aussi, être rejetées directement dans le milieu naturel.

La base de données CADRIN, mise à jour en continu par les services techniques de l'ONAS, recense les informations relatives au traitement et rejets des eaux usées des établissements industriels. En particulier, l'existence d'une station de traitement in situ, le débit journalier et le type de stations sont à documenter par l'industriel. A titre illustratif, sur plus de 5000 sites industriels référencés en 2010, 620 sites sont équipés d'une station in-situ, mais peu d'industriel précisent le type de station. Cependant un diagnostic complémentaire de l'ONAS a montré que la majorité de ces installations, de type aérobie, présentent des dysfonctionnements.

Stockage des boues (4D3)

Depuis le milieu des années 80, l'ONAS a commencé à stocker les boues de la STEP de Choutrana 1, la plus grande STEP en termes de capacité au niveau national, dans des mono-décharges de boues d'épuration des eaux usées. Cette activité consiste à déposer les boues pâteuses issues de la stabilisation dans des alvéoles et à les recouvrir de sables.

A partir des années 2000, cette pratique s'est répandue aux boues d'autres STEP avec l'enfouissement des boues des STEP de Sousse Nord et Sud (2001), puis, celles de la STEP de Grapée (2002), celles de Sud Méliane

(2004) et, enfin, les boues des STEP de Choutrana 2 et Soud Méliane 2 (2008). Par conséquent, en 2010, les centres d'enfouissement des boues reçoivent 52% des boues sèches générées par les STEP de Tunisie.

4.2. Méthode d'estimation des émissions

Traitement des eaux domestiques (4C1)

L'estimation des émissions de GES directs (CH₄ et N₂O) est réalisée en appliquant la méthodologie recommandée dans le chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

Par ailleurs, l'estimation des émissions de CO₂ provenant du traitement des eaux usées dans les STEP ont été réalisées sur la base du guide EMEP/EEA 2013.

Emissions de CH₄ (4D1)

Le calcul des émissions de CH₄ pour cette source est réalisée selon un niveau de la méthodologie compris entre le Tier 1 (rejet des eaux industrielles non traitées, stockage des boues) et le Tier 3 (approche bottom-up pour les données d'activité des STEP) en appliquant l'équation 6.1 du chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

$$\text{Emissions CH}_4 = \left[\sum_i (TOW_i - S_i) * EF_i \right] - R$$

Avec :

Emissions CH₄ : émissions de CH₄ de l'année de l'inventaire, *kg CH₄/an*,

i : chaque voie ou système de traitement et/ou d'élimination,

TOW_{*i*} : total des matières organiques dans les eaux usées dans l'année d'inventaire, *kg DBO/an*,

S_{*i*} : composant organique enlevé comme boue dans l'année d'inventaire, *kg DBO/an*,

EF_{*i*} : facteur d'émission, *kg CH₄/kg DBO*,

R : volume de CH₄ récupéré dans l'année de l'inventaire, *kg CH₄/an*.

Données d'activité :

- ☐ Traitement des eaux usées (4.D.1.CH₄_WWTP) et rejets des STEP (4.D.1.CH₄_Discharge)

Le paramètre principal pour l'estimation des émissions de CH₄ est la quantité de matières organiques (TOW, généralement exprimée en DBO₅ pour les eaux usées domestiques et en DCO pour les eaux usées industrielles) contenue dans les eaux usées traitées par chaque système de traitement et/ou rejetées dans chaque voie de rejet. Outre le TOW, la quantité de matière organique enlevée comme boue (S, généralement exprimée en DBO₅) et le volume de CH₄ récupéré sont nécessaires au calcul.

Les quantités de DBO₅ traitées dans les STEP par chaque système d'épuration (aérobie bien géré, aérobie mal géré, lagune profonde ou lagune peu profonde) sont obtenues à partir du rapport d'exploitation annuel des STEP de l'ONAS. Ces valeurs de DBO₅ correspondent à des eaux usées domestiques, mais aussi des eaux commerciales et industrielles.

A titre illustratif, en 2010, les 92 STEP communales de l'ONAS sont réparties entre 78 STEP de traitement sous conditions aérobies (boues activées moyenne charge, chenal d'oxydation, aération prolongée, lit bactérien) et 14 anaérobies (lagunage). A la même année, plus de 88% de la charge organique est traitée dans des stations d'épuration de type aérobie. Parmi les 78 STEP aérobies, 25 stations (52% de la DBO₅ entrante en station de type aérobie) ont été classées dans la catégorie « mal gérées » par les experts de l'ONAS dans la mesure où ces stations présentent, parfois saisonnièrement, une surcharge organique (DBO₅ entrante supérieure à la capacité de la station).

La quantité de DBO_5 enlevée dans les boues est calculée sur la base des quantités de boues générées par chaque système (BDD 2010 des STEP, ONAS) et une teneur en DBO_5 des boues. Cette dernière est issue de mesures effectuées sur deux STEP, l'une avec un système d'épuration fonctionnant à faible charge et l'autre à moyenne charge.

A titre illustratif, les données d'activité de l'année 2010 pour chaque système de traitement sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 12 : DBO_5 en entrée des STEP et DBO_5 contenue dans les boues

Type de traitement		2010	
		DBO_5 dans les eaux usées (kg)	DBO_5 dans les boues (kg)
Installation centrale de traitement aérobie	Bien gérée	40 026 630	18 722 659
	mal gérée	45 537 400	22 940 754
Etang d'épuration peu profond et anaérobie		6 534 595	0
Etang d'épuration profond avec conditions anaérobies		4 640 610	0
TOTAL		96 739 235	41 663 413

Pour le rejet des effluents des STEP, les teneurs en DBO_5 des eaux épurées à la sortie des STEP, sont disponibles auprès de l'ONAS. Par ailleurs, les experts de l'ONAS ont attribué à chaque STEP le type de milieu aquatique récepteur (courant, chargé ou stagnant) dans lequel se fait le rejet des eaux usées traitées.

Tableau 12 : Exemple illustratif de la quantité de DBO_5 en sortie des STEP en 2010 selon le type de milieu récepteur

Voie de rejet	2010
	DBO_5 dans les eaux usées à la sortie des STEP (kg)
Milieu Chargé	1 939 627
Milieu stagnant	0
Milieu courant	5 572 073
TOTAL	7 511 700

Concernant le traitement des boues issues des STEP, une seule station d'épuration dispose d'un digesteur (ou « méthaniseur ») en fonctionnement, à savoir Choutrana 1 (la plus grande station d'épuration de Tunisie). Les quantités des boues méthanisées ainsi que leur teneur en DBO_5 sont disponibles auprès de l'ONAS.

Faute de données sur le CH₄ récupéré sur le digesteur, le taux de fuite (5%), proposé par le chapitre 4 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC consacré aux traitements biologiques des déchets solides (dont la méthanisation fait partie), est appliqué pour l'estimation des émissions issues de la digestion des boues.

- Les eaux usées traitées de façon autonome en fosses septiques (4.D.1.CH4_septic)

La quantité de matière organique contenue dans les eaux usées traitées en fosses septiques est calculée à partir de l'équation 6.3 du chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

$$TOW_{FS} = P_{FS} * DBO_S * I$$

Avec :

TOW_{FS} : total des matières organiques dans les eaux usées traitées dans en fosses septiques pour l'année d'inventaire, *kg DBO/an*,

P_{FS} : Population traitant leurs eaux usées en fosses septiques dans l'année de l'inventaire, *habitant*,

DBO_S : DBO par habitant en Tunisie dans l'année de l'inventaire, *kg/hab/jour*,

I : coefficient de correction pour toute autre DBO industrielle supplémentaire rejetée dans les égouts (Valeur par défaut GIEC pour les eaux usées non collectées égale à 1).

A titre illustratif, le rapport annuel d'exploitation des STEP, réalisé par l'ONAS, spécifie le taux de production de DBO_5 par habitant de 13,14 kg/hab./an (rapport annuel d'exploitation 2010 des STEP, ONAS). C'est sur cette base que la quantité de matière organique dans les eaux usées traitées dans les fosses septiques est estimée.

- Rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel (4.D.1.CH4_Discharge)

La quantité de matière organique (TOW) contenue dans les eaux domestiques usées rejetées sans traitement dans le milieu naturel est calculée sur la base de la population non raccordée à une STEP et ne disposant pas de fosse septique et le rejet spécifique en DBO_5 par habitant.

En outre, pour prendre en compte les eaux industrielles non traitées, un coefficient I de 1,25 est appliqué à la DBO_5 des eaux domestiques non traitées.

L'étude menée par l'ONAS dans les régions rurales pour la Commission Européenne (Initiative de Dépollution de la Méditerranée «Horizon 2020», CE, 2006) a montré que 75% de la population rurale de la Tunisie déverserait ses eaux usées directement dans le milieu naturel.

Faute d'informations sur les milieux récepteurs, il est considéré que les rejets directs des eaux usées se font entièrement dans des milieux chargés. Dans la mesure où la Tunisie ne dispose pas de milieu stagnant cette hypothèse correspond à une approche majorante des émissions.

Facteurs d'émissions de CH₄ :

Le facteur d'émission de CH₄ pour cette catégorie est donné pour chaque système ou voie de traitement et/ou d'élimination des eaux usées selon l'équation 6.2 du chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC. Ce facteur d'émission est fonction du potentiel maximum de production de CH₄ (B_0) et du coefficient de correction du méthane (MCF).

$$EF_i = B_0 * MCF_i$$

Avec

EF : facteur d'émission, *kg CH₄/kg DBO*,

i : voie ou système de traitement et/ou d'élimination,

B₀ : capacité maximale de production de CH₄, *kg CH₄/kg DBO* (valeur par défaut GIEC 2006 = 0,6 *kg CH₄/kg DBO*),

MCF_i : coefficient de correction du méthane, fraction.

Le Tableau suivant résume les valeurs MCF et les facteurs d'émissions pour chaque voie ou système de traitement et/ou d'élimination utilisé pour le calcul des émissions de CH₄ issues des eaux usées domestiques.

Tableau 13 : MCF et FE déduits appliqués

Type de traitement et voie ou système d'élimination	MCF	FE (<i>kg CH₄/kg DBO₅</i>)
Système non traité		
Milieu aquatique à forte charge organique	0,1	0,06
Milieu en écoulement	0	0
Système traité		
Installation centrale de traitement aérobie bien gérée	0,1 ^a	0,06
Installation centrale de traitement aérobie mal gérée	0,3	0,18
Digesteur de boues	0,8	0,48
Etang d'épuration peu profond et anaérobie	0,2	0,12
Etang d'épuration profond avec conditions anaérobies	0,8	0,48
Système septique	0,5	0,3

Source : Tableau 6.3, chapitre 6 «traitement et rejet des eaux usées», volume 5 «Déchets», GIEC 2006

^a selon les exploitants des STEP de l'ONAS, il n'existe pas des stations à %100 bien gérées. Chaque station connaît des périodes de mauvais rendement (ex : surcharge en saison estivale). De ce fait, il a été proposé de considérer un MCF de 0,1 au lieu de 0 proposé par le GIEC.

Emissions de N₂O (4D1) :

Les émissions de N₂O issues du traitement et du rejet des eaux usées domestiques sont estimées selon la méthodologie recommandée dans le chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC. Ces émissions peuvent provenir directement des installations de traitement des eaux usées par nitrification/dénitrification (émissions directes), soit être générées lors du rejet des eaux usées (traitées ou non) dans le milieu aquatique naturel (émissions indirectes).

- Rejets dans le milieu naturel (4.D.1.N₂O_Discharge)

Les émissions indirectes de N₂O sont estimées en appliquant l'équation 6.7 du chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

$$\text{Emissions } N_2O_{\text{Ind}} = N_{\text{EFFLUENT}} * EF_{\text{EFFLUENT}} * 44/28$$

Avec :

Emissions N_2O_{Ind} : émissions de N_2O indirectes dans l'année de l'inventaire, kg N_2O ,

N_{EFFLUENT} : azote présent dans l'effluent et qui est rejeté dans les milieux aquatiques, N kg/an,

EF_{EFFLUENT} : facteur d'émission pour les émissions de N_2O issues d'eaux usées rejetées, N_2O-N kg/kg N.

Procédés (4.D.1.N2O_WWTP)

Les émissions directes de N_2O provenant des installations de nitrification/dénitrification, sont estimées en appliquant l'équation 6.9 du chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

$$\text{Emissions } N_2O_D = P_{\text{INSTALLATION}} * F_{\text{IND-COM}} * EF_{\text{INSTALLATION}}$$

Avec :

Emissions N_2O_D : émissions de N_2O directes dans l'année de l'inventaire, kg N_2O ,

$P_{\text{INSTALLATION}}$: Population raccordée à des installations de nitrification et dénitrification, habitant,

$F_{\text{IND-COM}}$: fraction de protéine commerciale et industrielle rejetée de façon mixte, (valeur adoptée = 1),

$EF_{\text{INSTALLATION}}$: facteur d'émission, g N_2O /personne/an.

Données d'activité :

Rejets dans le milieu naturel (4.D.1.N2O_Discharge)

Les quantités d'azote rejetées par les STEP sont disponibles auprès de l'ONAS. A titre illustratif, en 2010, 9,2 Gg N sont rejetées par les STEP dans le milieu naturel.

La quantité d'azote rejetée par la population non raccordée aux STEP ni à une fosse septique (c'est-à-dire rejetant ses eaux usées sans traitement) est estimée sur la base de la consommation en protéines de cette population selon l'équation 6.8 du chapitre 6 du Volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

$$N_{\text{EFFLUENT}} = (P \times \text{Proteins} \times F_{\text{NPR}} \times F_{\text{NON-CON}} \times F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{sludge}}$$

Avec :

N_{EFFLUENT} : azote présent dans l'effluent et qui est rejeté dans les milieux aquatiques, N kg/an,

Proteins : consommation annuelle en protéines par habitant, kg/hab./an,

F_{NPR} : Fraction en azote des protéines, kg N / kg de protéines (valeur par défaut adoptée = 0,16 kg N / kg de protéines),

$F_{\text{IND-COM}}$: fraction de protéine commerciale et industrielle rejetée de façon mixte, (valeur par défaut adoptée = 1,1),

$F_{\text{NON-CON}}$: fraction de protéines non consommées (valeur par défaut adoptée = 1,25)

N_{SLUDGE} : quantité d'azote retirée sous forme de boues, kg N/an.

La consommation en protéines de la population tunisienne est issue de l'enquête nationale sur la consommation et le niveau de vie des ménages (Enquête nationale sur les dépenses, la consommation et le niveau de vie des ménages).

L'application du paramètre FIND-COM permet de prendre en compte les émissions liées au rejet des eaux usées industrielles traitées in situ.

Dans le cas des rejets dans le milieu naturel la valeur du paramètre N_{SLUDGE} est nulle.

Procédés (4.D.1.N2O_WWTP)

Le nombre d'habitants raccordés à des stations aérobies dotées d'un processus de nitrification/dénitrification est disponible auprès de l'ONAS. La population considérée ici est exprimée en équivalents-habitant et couvrent les eaux domestiques, commerciales et industrielles.

Facteur d'émission :

Rejets dans le milieu naturel

Pour l'estimation des émissions de N2O, les facteurs d'émissions par défaut proposés par les lignes directrices 2006 du GIEC sont utilisés. Le facteur d'émission par défaut du GIEC pour les émissions de N2O provenant de l'effluent d'azote des eaux usées domestiques est de 0,005 kg N2O-N/kg N.

Procédés

Pour les stations de type nitrification/dénitrification, le facteur global d'émission pour estimer les émissions de N2O de ce genre d'installation est de 3,2 g N2O/personne/an.

Emissions de COVNM (4D1)

Le traitement des eaux usées engendre des émissions de GES indirects composés de COVNM. Le chapitre 5.D du guide EMEP/EEA 2013 fournit une méthodologie pour le calcul des émissions de COVNM.

$$\text{Emissions COVNM} = Q_w * FE_{\text{COVNM}} * 10^{-6}$$

Avec :

Emissions COVNM : émissions de COVNM dans l'année de l'inventaire, kg COVNM,

FE_{COVNM} : Facteur d'émission du COVNM, mg/m³ d'eaux usées,

Q_w : Volume d'eaux usées traitées, m³.

Le volume d'eaux usées traitées dans ses différentes STEP est disponible auprès de l'ONAS. A titre illustratif, il est d'environ 240 Millions de m³ en 2010. Le facteur d'émission des COVNM, est issu du tableau 3-1 de la page 7 du chapitre 5.D du guide EMEP/EEA 2013 et est de 15 mg/m³ d'eaux usées traitées.

Traitement des eaux industrielles (4D2)

L'estimation des émissions de GES directs (CH₄ et N₂O) est réalisée en appliquant la méthodologie recommandée dans le chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC.

Emissions de CH₄ (4D2)

Les émissions de CH₄ issues du traitement et du rejet des eaux usées industrielles dans les STEP de l'ONAS sont implicitement estimées et reportées avec les émissions de CH₄ provenant de la catégorie 4D1 (eaux domestiques), ce qui est conforme aux lignes directrices 2006 du GIEC pour le traitement et rejet des eaux usées.

Les émissions de CH₄ pour la catégorie (4D2) ne concernent que le traitement des eaux usées industrielles in-situ. L'estimation de ces émissions est réalisée en appliquant l'équation 6.4 du chapitre 6 du volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC 2006.

$$\text{Emissions CH}_4 = \sum_i [(TOW_i - S_i) * EF_i - R_i]$$

Avec :

Emissions CH₄ : émissions de CH₄ de l'année de l'inventaire, kg CH₄/an,

i : secteur industriel,

TOW_i : total des matières organiques dans les eaux usées provenant de l'industrie i dans l'année d'inventaire, kg DCO/an,

S_i : composante organique éliminée comme boue dans l'année d'inventaire, kg DCO/an,

EF_i : facteur d'émission pour la voie ou le système de traitement et/ou d'élimination(s) utilisé(s) dans l'année de l'inventaire, kg CH₄/kg DCO,

R : volume de CH₄ récupéré dans l'année de l'inventaire, kg CH₄/an.

Les émissions des eaux industrielles non traitées sont considérées avec celles des eaux domestiques non traitées.

Données d'activité :

En Tunisie, le débit et la qualité (dont la DCO) des eaux usées issues des sites industriels, dont ceux disposant d'un pré-traitement, sont suivis dans le cadre de la mise à jour de l'application CADRIN réalisée par l'ONAS. En 2010, sur les 620 sites déclarant disposer d'un traitement in situ (pré-traitement ou traitement), les 320 plus gros sites en termes de débits annuels ont été retenus. Les teneurs en DCO par défaut proposées dans le tableau 6.9 du chapitre 6 du Volume 5 des lignes directrices 2006 du GIEC (en fonction du secteur industriel concerné) sont appliquées en priorité. En effet, la majorité des opérateurs ne menent qu'une seule analyse annuelle de la DCO. La DCO spécifique déclarée dans le registre du CADRIN de l'ONAS n'a été appliquée que pour les secteurs industriels non documentés dans les lignes directrices 2006 du GIEC.

Facteur d'émission :

Le facteur d'émission du CH₄ est fonction du potentiel maximum de production de CH₄ (B₀) et du coefficient de correction du méthane (MCF).

$$EF_i = B_0 * MCF_i$$

Avec

EF : facteur d'émission, kg CH₄/kg DBO,

i : voie ou système de traitement et/ou d'élimination,

B₀ : capacité maximale de production de CH₄, kg CH₄/kg DBO (valeur par défaut GIEC 2006 = 0,25 kg CH₄/kg DCO),

MCF_i : coefficient de correction du méthane, fraction.

Pour le cas de la Tunisie, une enquête a été menée par l'ONAS sur les stations d'épurations des eaux usées chez les industriels. Cette étude a montré que la majorité des stations dans les établissements industriels sont de type aérobie mais aussi qu'elles présentent des dysfonctionnements et sont mal exploitées. Par conséquent, les stations d'épuration in-situ sont considérées de type aérobie « mal géré ».

La valeur de MCF appliquée pour le calcul des émissions de CH₄ provenant des eaux usées industrielles est donc égale à 0,3 et par conséquent, le facteur d'émission est de 0,075 kg CH₄/kg DCO.

Emissions de N₂O (4D2) :

Les émissions de N₂O issues du rejet des eaux usées industrielles traitées dans les STEP de l'ONAS sont implicitement estimées et reportées avec les émissions de N₂O provenant de la catégorie 4D1 (eaux

domestiques), ce qui est conforme aux lignes directrices 2006 du GIEC pour le traitement et rejet des eaux usées.

Faute de données détaillées sur les rejets directs en azote des sites industriels, les émissions de N₂O issues du rejet des eaux usées industrielles traitées in-situ sont calculées avec les eaux usées domestiques non raccordées par l'application d'un coefficient (FIND-COM) de 1,25 comme recommandé par les lignes directrices 2006 du GIEC.

Stockage des boues (4D3)

Les émissions de CH₄ liées au stockage des boues sont calculées sur la base de l'application d'une cinétique d'ordre 1 comme recommandé pour le stockage de déchets solides dans le chapitre 3 du Volume 5 des Lignes Directrices 2006 du GIEC.

L'application de la méthode est basée à la fois sur des paramètres nationaux (quantité de boues sèches évacuées dans le centre d'enfouissement) et des paramètres par défaut proposés par le GIEC (constante de vitesse etc.). Le niveau de méthode correspondant est Tier 1.

Les calculs seront effectués avec l'outil Excel proposé par le GIEC (IPCC_Waste_Model) appliqué aux seules boues.

Données d'activité

Les lignes directrices du GIEC 2006 proposent une constante de vitesse pour les boues déposées en décharges correspondant à un temps de demi-vie d'environ 4 ans. Par conséquent, conformément aux Lignes Directrices qui recommandent de réaliser un historique sur 3 à 4 demi-vies, les quantités de boues sèches évacuées dans les centres d'enfouissements depuis 20 ans sont estimées. Ces quantités sont estimées sur la base des données sur les quantités de boues sèches évacuées disponibles auprès de l'ONAS. Pour les années où ces données sont manquantes, une interpolation/extrapolation est appliquée sur la base de la population connectée aux STEP et du taux spécifique de production de boues sèches par équivalent habitant.

Paramètres de la cinétique :

Bien que la Tunisie soit dans une zone climatique tempérée sèche, il a été convenu de paramétrer dans l'outil du GIEC 2006 sur une zone tempérée humide dans la mesure où les boues sèches stockées par l'ONAS en mono-décharge présentent un fort taux d'humidité (environ 20% de siccité car majoritairement issues de la déshydratation mécanique).

Par ailleurs, les mono-décharges ont été identifiées dans le GIEC comme «Décharges non-catégorisées» pour lesquelles le GIEC propose un MCF de l'ordre de 0,6. Les autres paramètres par défaut de l'outil Excel proposé par le GIEC seront conservés : la fraction de COD qui se dégrade : COD_f, la fraction de CH₄ dans le biogaz et le facteur d'oxydation.

4.3. Incertitudes

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

4.4. Contrôle et assurance qualité (QA/QC)

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

Des dispositions particulières sont aussi mises en œuvre :

- Des échanges ont lieu avec les responsables du secteur de l'assainissement pour s'assurer que toutes les eaux usées sont prises en considération dans l'inventaire des GES,
- Une comparaison a été effectuée entre la DBO nationale dans les eaux usées domestiques et celle du GIEC, et il a été démontré que le paramètre national est raisonnable au regard des valeurs par défaut du GIEC,

- ❑ Une vérification doit être menée pour s'assurer que les unités utilisées pour le carbone dégradable dans les déchets et pour la capacité maximale de production du méthane sont identiques,
- ❑ Des échanges doivent avoir lieu entre les responsables du secteur des déchets, ceux de l'agriculture et de l'énergie pour s'assurer de la concordance et l'absence de double comptage pour les différents usages des boues (épandage agricole, incinération et évacuation des boues dans les décharges).

4.5. Améliorations envisagées

La teneur de DBO5 dans les boues est issue de 2 mesures. L'ONAS va améliorer la représentativité de ce paramètre en prévoyant sa mesure mensuelle systématique sur les STEP et son rapportage dans les rapports d'exploitation annuels des stations.

Les données (DCO, contenu en azote dans les effluents, type de traitement) relatives aux eaux industrielles traitées in situ sont fragmentaires. L'amélioration des procédures de collecte des paramètres de suivis du traitement et rejet des eaux usées industrielles non raccordées à l'ONAS est envisagée (adaptation de la procédure et de l'application CADRIN aux besoins de l'inventaire).

La connaissance de la quantité de DBO5 générée par habitant rural permettra d'améliorer l'estimation des émissions en milieu rural.

L'identification précise des caractéristiques d'écoulement des différents oueds dans lesquels sont déversées les eaux usées traitées pourrait être améliorée, par exemple en collectant des données spécifiques éventuellement disponibles auprès du Ministère de l'agriculture.

5. Autres traitements (4 E) :

5.1. Caractéristiques de la catégorie :

Stockage des margines (4E1)

La Tunisie est un important producteur d'huile d'olives, et les perspectives futures augurent d'une forte augmentation de cette activité.

Le procédé d'extraction de l'huile d'olives engendre deux sous-produits : les grignons d'olives (formés des pulpes et noyaux) et les margines (effluents liquides). Les margines sont des effluents liquides acides à très forte charge organique et forte charge en azote.

Les margines sont valorisées en agriculture (épandage dans les fermes) et les quantités non épandues sont stockées. Le stockage de margine (en bassins ouverts) est source de CH₄ et ces émissions font l'objet d'une estimation.

5.2. Méthode d'estimation des émissions

Stockage des margines (4E1)

La méthodologie de calcul des émissions de CH₄ lors du stockage de margines a été développée par le Centre Biotechnologique de Sfax (Ministère de la recherche scientifique). Elle s'appuie sur la Demande Chimique en Oxygène (DCO) des margines

$$\text{Emissions CH}_4 = V * \text{DCO} * B_0 * \text{MCF} * M_{\text{CH}_4} / V_m$$

Avec

Emissions CH₄ : Emissions CH₄, Mg,

V : Volume de margines stockées, m³,

DCO : population urbaine, g DCO / litre,

B₀ : Taux maximum de production de CH₄, litre CH₄ / kg DCO,

MCF : Facteur de correction du CH₄, fraction,

M_{CH₄} : Masse molaire du CH₄, 16 g/mol,

V_m : Volume molaire à 15°C, 23,6 litre/mol.

Activité :

Les quantités de margines générées par la production d'huile d'olives et les quantités épandues dans les fermes sont disponibles annuellement auprès du Ministère de l'agriculture tunisien. Si ces données ne sont pas disponibles, elles pourront être estimées sur la base du ratio marge/production d'olive à huile ou production d'huile, constaté lors des années précédentes.

Facteur d'émission :

La composition des margines, et en particulier la teneur en DCO, dépend du type d'olives, de leur degré de maturation, des conditions climatiques, du procédé d'extraction etc. La DCO des margines proposée par le Centre Biotechnologique de Sfax et retenue dans l'inventaire est de 80 g/litre.

Le Centre Biotechnologique de Sfax a défini un MCF de 0.4 et un B₀ de 0.35 litre CH₄/g DCO. Le facteur d'émission résultant est de 5,6 kg CH₄ / m³ de margines.

5.3. Incertitudes

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

5.4. Contrôle et assurance qualité (QA/QC):

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

Des dispositions particulières sont aussi mises en œuvre :

- La mise en œuvre de la méthodologie nationale a été soumise à la validation du Centre Biotechnologique de Sfax,
- La DCO des margines a été comparée à celle d'autres producteurs d'olives similaires, notamment le Maroc.

5.5. Améliorations envisagées :

Aucune amélioration complémentaire n'a été planifiée.

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



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/