



REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Équipement et de l'Environnement

Seconde Communication Nationale
de la Tunisie à la Convention
Cadre des Nations Unies sur les
Changements Climatiques



REPUBLIQUE TUNISIENNE
Ministère de l'Équipement et de l'Environnement

Seconde Communication Nationale
de la Tunisie à la Convention
Cadre des Nations Unies sur les
Changements Climatiques

TABLE DES MATIERES	2
RESUME EXECUTIF (Version anglaise - English version)	6
INTRODUCTION	28
CHAPITRE 1 : CONTEXTE NATIONAL	30
1. Situation géographique et reliefs	31
2. Caractéristiques climatiques	32
2.1. Facteurs de variation spatio-temporelle des pluies en Tunisie	32
2.2. Précipitation et variation spatio-temporelles	33
2.3. Variations saisonnières	33
2.4. Insolation, rayonnement solaire global et températures moyennes	34
3. Démographie et développement humain	34
3.1. Population	34
3.2. Développement humain	34
4. Zones industrielles et parcs d'activités économiques	35
5. Environnement économique	35
6. Contexte énergétique	37
7. Typologie de l'industrie tunisienne	38
8. L'agriculture en Tunisie	39
CHAPITRE 2 : INVENTAIRE DES GAZ A EFFET DE SERRE (GES) EN TUNISIE POUR L'ANNEE 2000	40
1. Introduction	41
2. Synthèse de l'inventaire de GES en Tunisie pour l'an 2000	41
2.1. Inventaire national global des GES	41
2.2. Evaluation quantitative par type de gaz	45
2.3. Analyse par source de GES	46
3. Résultats agrégés par gaz	53
3.1. Emissions de CO ₂	53
3.2. Emissions de CH ₄	55
3.3. Emissions de N ₂ O	56
3.4. Emissions de NO _x	57
3.5. Emissions de CO	59
3.6. Emissions de COVNM (Composés organiques volatils non méthaniques)	59
3.7. Emissions de SO ₂	60
4. Résultats agrégés par source	61
4.1. Energie (secteur 1)	61
4.2. Procédés industriels (secteur 2)	69
4.3. Solvants	77
4.4. Agriculture (secteur 4)	77
4.5. Changements d'affectation des terres et forêts (secteur 5)	81
4.6. Déchets (secteur 6)	83

CHAPITRE 3 : EFFORTS DE LA TUNISIE POUR CONTRIBUER À L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	89
1. Introduction	89
2. Aperçu sur la stratégie nationale de développement durable	89
3. Atténuation des émissions de GES dans le secteur de l'énergie	89
3.1. Evolution des émissions dues au secteur de l'énergie	89
3.2. Décélération du taux de croissance des émissions de GES dues à la consommation d'énergie	92
3.3. Découplage entre la croissance économique et les émissions de GES dues à l'énergie	93
3.4. Réduction substantielle de l'intensité carbone	94
3.5. Evolution des émissions de GES dues à l'énergie sans programme de maîtrise de l'énergie (scénario de référence) et avec programme de maîtrise de l'énergie.	95
3.6. Autres indicateurs en relation avec l'évolution des émissions de GES dues à l'énergie	96
4. Initiatives programmés et potentiel d'atténuation des émissions de GES dans le secteur de l'énergie	99
4.1. Le Plan Solaire Tunisien (PST)	99
4.2. Potentiel et options d'atténuation dans le secteur de la transformation énergétique	100
4.3. Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans le secteur du transport	101
4.4. Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans l'industrie manufacturière	103
4.5. Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans le secteur du bâtiment	104
5. Atténuation des émissions de GES dans le secteur des Procédés Industriels	106
5.1. Introduction	106
5.2. Programmes de développement industriel	106
5.3. Défis et opportunités pour l'industrie en Tunisie	107
5.4. Mesures d'atténuation des GES dans le secteur des procédés industriels	107
5.5. Emissions du scénario de référence aux horizons 2010 et 2020	109
5.6. Scénario d'atténuation	109
5.7 Retombées des mesures d'atténuation	110
6. Atténuation des émissions de GES dans le secteur de l'Agriculture	110
6.1. Introduction	110
6.2. Mesures d'atténuation des GES dans le secteur de l'Agriculture	110
6.3. Emission de GES à l'horizon 2020 : scénario de référence	112
6.4. Bilan des émissions de GES entre scénario de référence et scénario d'atténuation	113
7. Atténuation des émissions dans le secteur du Changement d'Affectation des Terres et Forêts (CATF)	114
7.1 Ressources naturelles, base fondamentale du développement agricole durable	114
7.2 Politique de conservation des eaux et des sols	114
7.3 Mesures d'atténuation des GES	115
7.4 Emissions de GES dues au CATF à l'horizon 2020 : scénario de référence	115
7.5 Emissions de GES dues au CATF à l'horizon 2020 : scénario d'atténuation	116

8. Atténuation des émissions de GES dans le secteur des Déchets	118
8.1 Politiques nationales pour la gestion des déchets solides et liquides	118
8.2 Identification des options d'atténuation dans le secteur des déchets	119
8.3 Mécanisme de Développement Propre dans le secteur des déchets	120
8.4 Données de l'année de base (2000)	120
8.5 Scénario de référence	123
8.6 Projections des émissions de GES du Scénario de référence	124
8.7 Scénario d'atténuation	128
8.8 Simulation des émissions de GES sous le scénario d'atténuation	128
CHAPITRE 4 : EVALUATION DE LA VULNERABILITE, DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DES MESURES D'ADAPTATION EN TUNISIE	132
1. Introduction	133
2. Evolutions observées du climat de la Tunisie	133
3. Projections du climat en Tunisie aux horizons 2020 et 2050	134
4. Vulnérabilité des ressources en eau face au changement climatique	138
5. Vulnérabilité des écosystèmes face au changement climatique	141
5.1. Les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes	141
5.2. Analyse des programmes qui contribuent à l'adaptation des écosystèmes	142
6. Vulnérabilité du secteur agricole face au changement climatique	144
7. La stratégie nationale d'adaptation du secteur agricole au changement climatique	148
8. Vulnérabilité environnementale et socio-économique du littoral de la Tunisie face à une élévation accélérée du niveau de la mer (EANM) due au changement climatique	149
9. Stratégie nationale d'adaptation à l'élévation accélérée du niveau de la mer (EANM)	163
Annexe : Bibliographie	172



EXECUTIVE SUMMARY

TUNISIA'S SECOND NATIONAL
COMMUNICATION UNDER THE UNITED
NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON
CLIMATE CHANGE (UNFCCC)

I. GENERAL CONTEXT

Tunisia ratified the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) on July 15th 1993 being from that date Party to the Convention. In addition, Tunisia has ratified the Kyoto Protocol in June 2002.

As a Non-Annex I Party to the UNFCCC and in accordance with provisions of Article 12 of the Convention, Tunisia shall communicate to the Conference of the Parties (COP), through the Secretariat, the following elements of information:

- A national inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of all greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol;
- A general description of steps taken or envisaged by the Party to implement the Convention; and
- Any other information that the Party considers relevant to the achievement of the objective of the Convention and suitable for inclusion in its communication, including, if feasible, material relevant for calculations of global emission trends.

The present communication (the second for Tunisia) was elaborated to meet the aforementioned obligation under the UNFCCC.

It is important to indicate that the present national communication reflects Tunisia's context regarding mitigation and adaptation to climate change by the year 2010.

Geographical situation and climatic characteristics



Tunisia is located in North Africa, at the south of the Mediterranean Sea and at the junction of the oriental and occidental Mediterranean basins. The Tunisian territory is localised between longitudes

7° and 12° East and latitudes 32° and 38° North.

While the total area of the country is of almost 164000 km², the agricultural areas account only for 50% of it (8.7 millions of hectares).

The total population of Tunisia reached 10 327 800 inhabitants in 1 July 2008, following an average annual growth rate of 1%. About 63% of the population lives in urban settlements.

The relatively high latitude of Tunisia and its geographical stretch from South to North conferred to the country the

following succession of climatic zones:

- Humid to Sub-humid in the extreme North;
- Sub-humid to Semi-arid in the Northwest and the Cap Bon region;
- Semi-arid to Arid in central Tunisia;
- Desert in the entire South.

Thereby, the climate of the country is basically characterized by seasonal irregularity and aridity. That is why it is necessary to take into consideration all factors influencing water resources.

Rainfalls are distributed as per dominant wind direction in winter (North-West) and land relief. In the North, the rainfall is over 400 mm/year and reaches 1500 mm/year in the extreme Northwest. In the central areas, rainfall is in a range between 150 and 300 mm/year, while in the South, rainfall become more rare (below 150 mm/year) and in the extreme South, rainfall does not exceed 50 mm/year in general. The total average rainfall is about 36 billion m³/year. Nevertheless, this amount varies as per years. Drought years or years of rainfall overflow could alternate or follow.

Several studies conducted in Tunisia have unequivocally demonstrated the extreme vulnerability of the ecosystems and natural resources of the country, in particular water and soil resources, to climate change impacts.

Economic context

The GDP growth rate reached 5.2% / year in average between 1997 and 2001. In addition, it reached 4.2% in 2005 compared to 6% in 2004. Inflation which reached the level of 9% in the early 1980's, was reduced under the 3% threshold over the period 1999-2003 and reached 2% in 2005. The government budget deficit was about 3% of the GDP / year between 1997 and 2001 and reduced to 2.6% in 2005.

The Tunisian economy is quiet diversified. The GDP distribution per sector of activities (2007) is as follows: 11.7% for Agriculture and Fisheries, 33.3%

for Industry and 55% for Services of which 6% for Tourism sector. Investments represent almost the quarter of the GDP and private sector contributes for more than 50% of them.

Several programmes for industrial sector upgrading were implemented, in co-operation with the European Union, in order to enhance enterprises competitiveness and to address challenges after liberalisation of international exchanges in 2008. The programme related to the upgrading of manufacturing industries started in 1996 and covered 3410 enterprises up to the end of 2005. Otherwise, the industrial modernisation program aimed to support, over the period 2005-2008, the efforts regarding industrial restructuring and modernisation as complementary support to the upgrading industrial programmes.

Regarding the energetic context, Tunisia has become since the early 2000s, a net importer of energy due to the depletion of its fossil resources and the important growth of its energy demand.

II. Greenhouse gas inventory in Tunisia

The total net anthropogenic greenhouse gases (GHG) emissions in Tunisia for the year 2000 were evaluated to 32.1 million metric tonnes of CO₂ equivalent (CO₂e), which represents 3.4 tonnes CO₂e (tCO₂e) per capita in the year 2000.

The gross GHG emissions reached 37.8 million tCO₂e in 2000, which represents 3.92 tCO₂e per capita. The difference between net and gross emissions (5.7 million tCO₂e) represents the quantity of organic CO₂ sequestered by biomass.

The main results of the national GHG inventory for the year 2000 are synthesized in the following tables and figures:

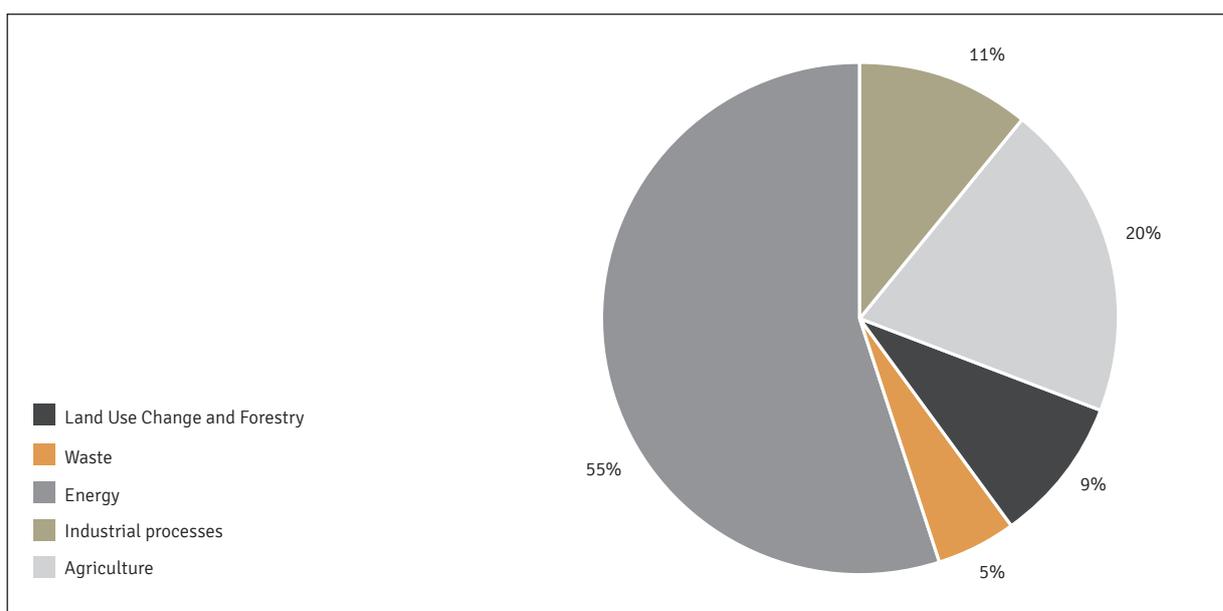
Total GHG emissions/removals in Tunisia in 2000 (Gg = 1000 tonnes)

	CO ₂ emissions	CO ₂ removals	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NM VOC	SO ₂
Total national Emissions/ Removals (Gg)	26 207.2	-5 685.0	277.73	18.6	96.1	414.2	109.7	111.3
1. Energy	19 048.0		73.6	0.6	95.7	405.9	71.7	64.0
2. Industrial processes	3 616.2		-	1.1	0.2	0.95	9.1	47.3
3. Solvents	-		-	-	-	-	29.0	-
4. Agriculture	-		126.0	16.1	0.3	7.5	-	-
5. Land Use Change and Forestry	3 543.0	-5 685.0	-	-	-	-	-	-
6. Waste			78,12	0,78	-	-	-	-
International Bunkers	893.0		0.01	0.02	4.9	1.3	-	1.8

Total gross GHG (CO₂, CH₄ and N₂O) emissions and CO₂ removals in Tunisia in 2000 (Gg CO₂e)

	CO ₂ Emissions	Removals of CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total gross emissions	%
Total national Emissions/ Removals (Gg CO₂e)	26 207.2	-5 685.0	5 832.7	5 758.9	37 798.8	100
1. Energy	19 048.0		1 545.6	187.55	20 781.2	55.0
2. Industrial processes	3 616.2		-	338.5	3 954.7	10.5
3. Solvents	-		-	-		
4. Agriculture	-		2 646.6	4 991.0	7 637.6	20.2
5. Land Use Change and Forestry	3 543.0	-5 685.0	-	-	3 543.0	9.3
6. Waste			1 640.5	241.8	1 882.3	5.0
International Bunkers	893.0		0.23	7.8	901.0	

Gross GHG emissions distribution by source in 2000



Net GHG emissions (CO₂, CH₄ and N₂O) in 2000
(in Gg CO₂e = tCO₂e)

	Net emissions of CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total net emissions
Total national Emissions/Removals (Gg CO₂e)	26 207.2	5 832.7	5 758.9	32 113.8
1. Energy	19 048.0	1 545.6	187.55	20 781.2
2. Industrial processes	3 616.2	-	338.5	3 954.7
3. Solvents	-	-	-	
4. Agriculture	-	2 646.6	4 991.0	7 637.6
5. Land Use Change and Forestry	-2 142.0	-	-	- 2 142.0
6. Waste		1 640.5	241.8	1 882.3
International Bunkers	893.0	0.23	7.8	901.0

Aggregated results per gas

The gross emissions calculated for GHG (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, NMVOC and SO₂) are given in the table below:

Gross GHG emissions in Tunisia in 2000

Gg = 1000 metric tonnes	
CO₂ *	26 207.18
CH₄	277.73
N₂O	18.58
NO_x	96.13
CO	414.7
NMVOC	109.14
SO₂	111.29

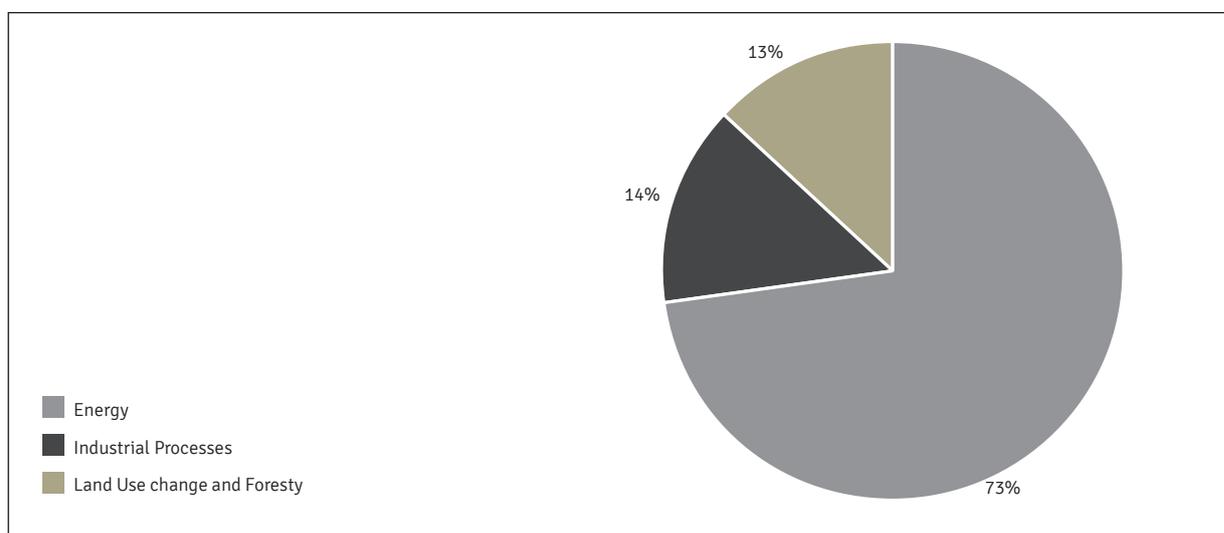
* Gross emissions of CO₂

With a net total of 20.5 million tonnes, CO₂ is the main greenhouse gas emitted in Tunisia.

CO₂ emissions by source in 2000 (Gg = 1000 tonnes)

Sector	Gross emissions	%	Net emissions
Energy	19 048	73	19 048
Industrial processes	3 616.185	14	3 616.185
Solvents	-	-	-
Agriculture	-	-	-
Land Use Change and Forestry	3 542.99	13	- 2 142
Waste	-	-	-
Total CO₂	26 207.175	100	20 522.2

CO₂ emissions distribution by source in 2000



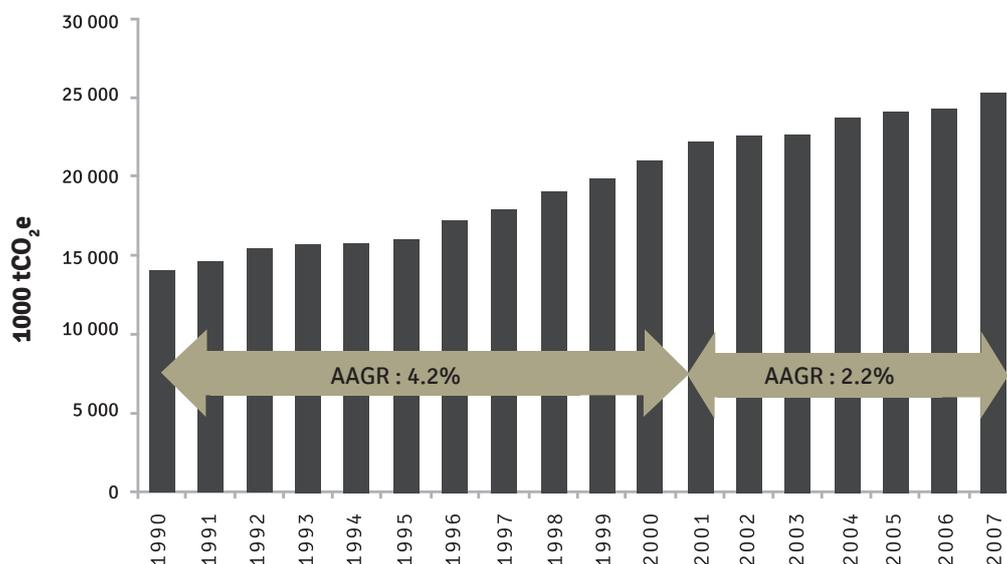
III. TUNISIA'S EFFORTS TO CONTRIBUTE IN CLIMATE CHANGE MITIGATION

The most important efforts were achieved in the energy sector. Indeed, Tunisia is one of the first developing countries which have adopted a voluntary policy on energy conservation since the middle of 1980's. Since 2005, important measures have reinforced this policy with the adoption of a new law on energy conservation,

the decoupling between economic growth and GHG emissions due to energy and the substantial decrease of the carbon intensity.

III.1. Decrease in the growth rate of the GHG emissions due to energy use

Between 1990 and 2002, the annual average growth rate of GHG emissions due to energy use was of 4.2% and slowed down to 2.2% for the period 2001-2007.

Evolution of GHG emissions due to energy in 1000 tCO₂e

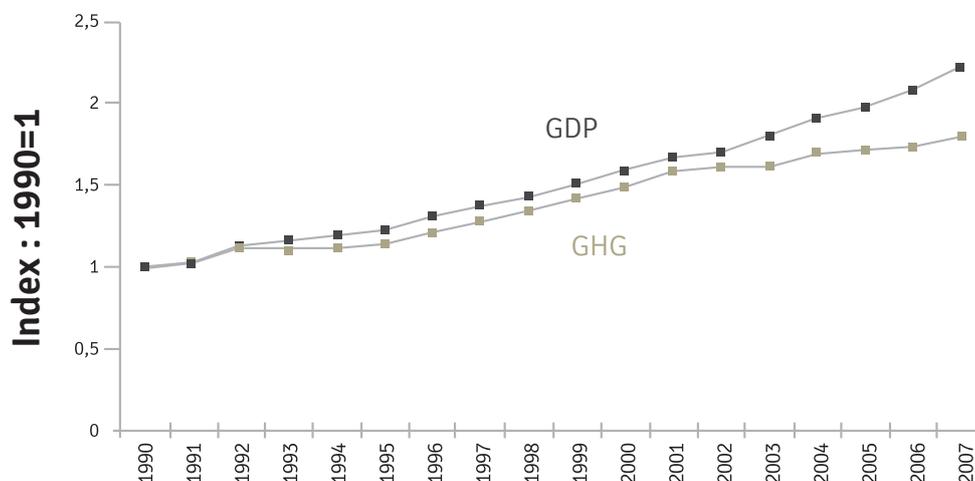
AAGR : Annual growth rate of GHG
(Source: National Agency for Energy Conservation (ANME))

III.2. Decoupling between economic growth and GHG emissions due to energy use

Between 1990 and 2001, the gross domestic product (GDP) growth rate in Tunisia has evolved of 4.76% per year meanwhile the GHG emissions have evolved of 4.2% per year.

However, between 2001 and 2007, the GDP growth rate has continued to increase at the same pace (4.74% per year) meanwhile the GHG emissions rate has decreased to 2.2% per year as shown in the figure below:

Evolution of the economic growth and the GHG emissions due to energy



(Source: National Agency for Energy Conservation (ANME))

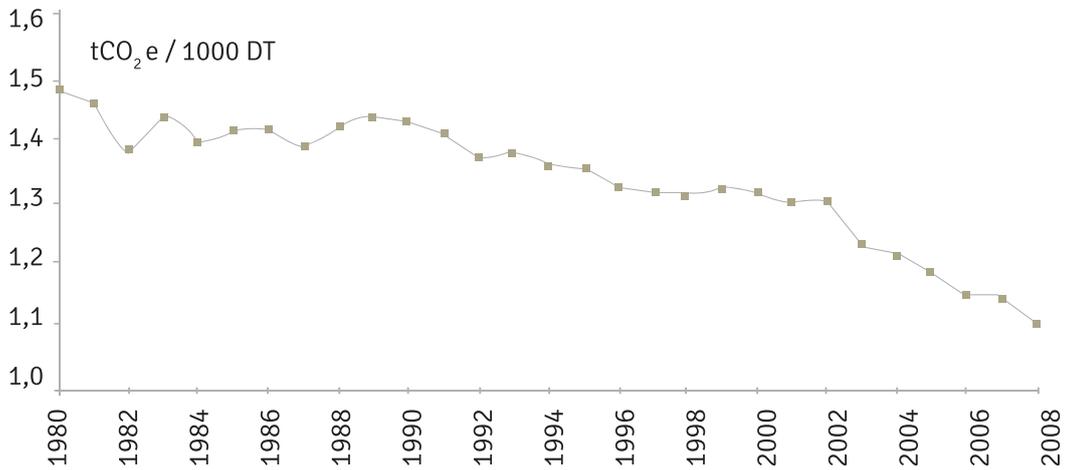
III.3. Substantial reduction of the carbon intensity

By GDP unit (1000 Tunisian Dinars: DT), the GHG emissions passed from 1.482 tCO₂e per 1000 DT in 1980 to 1.105 tCO₂e per 1000 DT in 2008 which represents an average decrease of 1% per year during the period 1980-2008. This reduction has been intensified since 2000 to reach an average rate of 2.1% per year.

The decrease of the carbon intensity of the energy sector is the result of the conjunction of four concomitants factors:

- The orientation of the Tunisian economy to less energy intensive sectors;
- The improvement of energy efficiency, mainly in the manufacturing industry;
- The development in use of natural gas;
- The use of combined cycle power plants to generate electricity.

Evolution of the carbon intensity in the energy sector



(Source: National Agency for Energy Conservation (ANME))

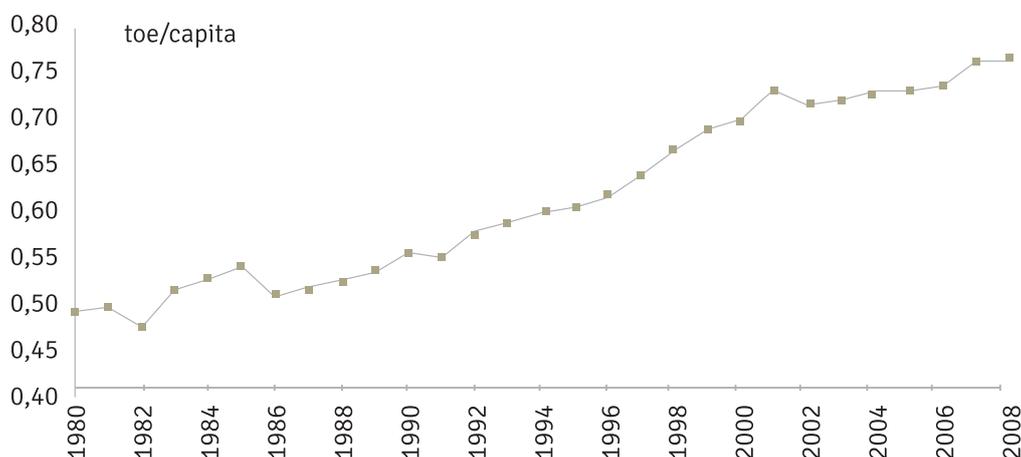
III.4. Trends in the primary energy use per capita

The primary energy use per capita still low compared to industrialized countries levels. Indeed, it is of 0.765 metric tonne of oil equivalent (toe) per capita in 2008.

The primary energy use was of 0.486 toe per capita in 1980. Thus, this ratio has increased at the slow rate of about 1.6% per year.

During the period 2000-2008, the primary energy use per capita has increased at the rate of 1.1% under the positive effects of an active policy relating to energy conservation.

Evolution of the primary energy use per capita



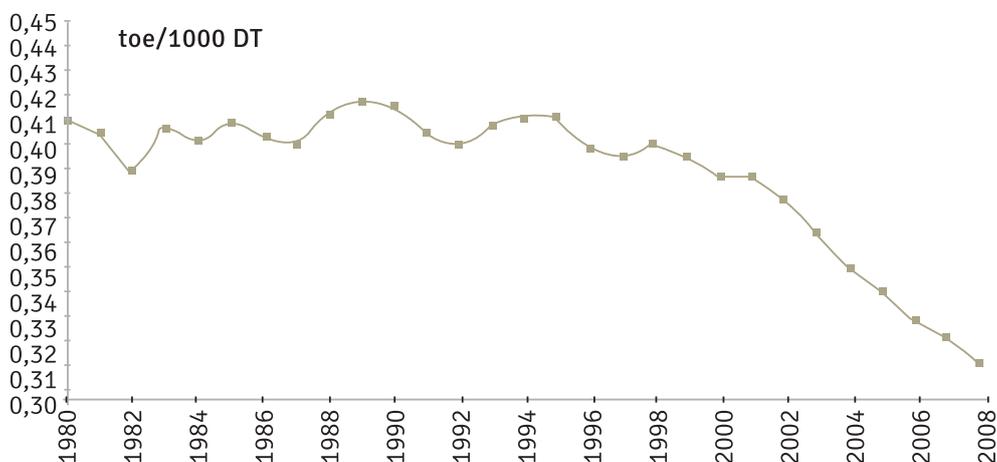
(Source: National Agency for Energy Conservation (ANME))

III.5. Trends in primary energy intensity

The primary energy intensity, defined as the ratio between the gross consumption of primary energy and the GDP at 1990's constant prices, decreased at an average rate of 1% per year during the period 1980-2008.

Thanks to the energy policy in the different economic sectors, the primary energy intensity (in toe/1000 DT) has decreased more rapidly since 2000 at an estimated average rate of 2.6% per year.

Evolution of primary energy intensity in toe/1000 DT



(Source: National Agency for Energy Conservation (ANME))

III.6. Programmed initiatives and GHG emissions mitigation potential in the energy sector: The Tunisian Solar Plan (PST)

The Tunisian Solar Plan (Plan Solaire Tunisien: PST) represents the most important programmed initiative in terms of GHG emissions mitigation potential in the energy sector. The PST is part of the contribution of Tunisia to the implementation of the Mediterranean Solar Plan with a long-term approach vision which takes into consideration the Tunisian achievements regarding energy conservation.

The PST includes projects for energy efficiency and renewable energy, covering the period 2010-2030 with the identification of 40 projects in the first period 2010-2016.

Two main objectives are covered by the PST:

- A reduction in energy demand by 24% in 2016 and 40% in 2030;
- Increasing the share of renewable energies (solar, wind and biomass) in electricity generation capacity to reach the rate of 11% in 2016 and 30% in 2030.

The energy efficiency improvement applies to a substantial reduction of the energy intensity, which would decrease from 0.268 ton of oil equivalent (toe) per 1000 DT in 2016 to 0.200 toe per 1000 DT in 2020. Since the PST covers the major actions related to energy efficiency and renewable energies, the mitigation potential of the energy sector can be

considered as the PST potential.

The PST potential was evaluated on the basis of two scenarios:

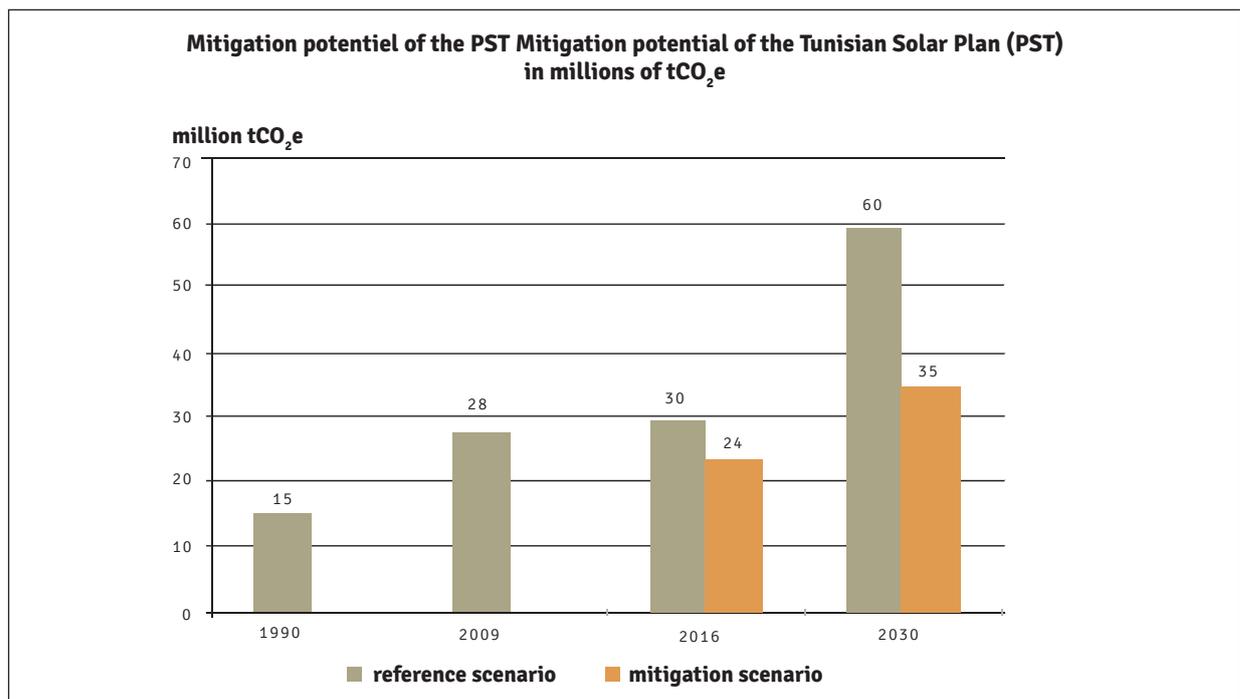
- A baseline scenario (reference scenario or non-intervention scenario) which reflects the continuity of the current trends in energy conservation;
- A mitigation scenario which reflects the full implementation of the PST and which results in carbon intensity decrease to 0.480 tCO₂e per 1000 DT in 2030. In the reference scenario, the GHG emissions level would reach 60 million tCO₂e in 2030 and, thus, would increase with an average rate of 3.7% per year between 2009 and 2030.

In the mitigation scenario, the reinforcement of actions related to energy conservation (energy efficiency and renewable energies) would limit the GHG emissions rate to 1.1% per year. Accordingly, the GHG emissions would reach 35 million tCO₂e in 2030.

The mitigation options are divided up two categories:

- The energy efficiency options in the concerned sectors: manufacturing industry, transport and buildings;
- The renewable energies options, namely for electricity generation.

As shown in the figure below, the avoided GHG emissions would reach 6 million tCO₂e by 2016 and 25 million tCO₂e by 2030.



(Source: National Agency for Energy Conservation (ANME))

IV. VULNERABILITY ASSESSMENT, CLIMATE CHANGE IMPACTS AND ADAPTATION MEASURES IN TUNISIA

Several studies, namely of *Giannakopoulos, et al., 2005*, showcased the particular vulnerability of the Mediterranean region to climate change. Indeed, it was shown that in case of 2°C increase of global mean temperature, this region, which Tunisia is part of it, would suffer from a warming of 1°C to 3°C.

Rainfalls' decrease would be the most striking phenomenon, especially in summer periods. Also, long and intense periods of drought are suspected to occur in the south of the region, with strong variability and shift of seasons.

In Tunisia, studies on the assessment of the vulnerability to climate change unequivocally indicated that the country is suffering and would suffer for a long time from climate change impacts, in particular the impacts related to mean temperatures increase, rainfalls decrease and sea level rise.

Indeed, climate change would, according to the aforementioned studies, exacerbate the water stress, contribute to the degradation of ecosystems and agro-ecosystems (olive oil production, arboriculture, farming, large-scale crops mainly wheat, etc.) and increase the frequency of occurrence of severe weather phenomena, in particular droughts and floods.

Tunisia would suffer from the amplification of the erosion phenomenon, warmer summers, and more frequent and severe droughts followed by intense rainfalls.

The higher temperatures would dry out soils and increase salinity of fresh water reserves.

In addition, the sea-level rise due to climate warming would have severe impacts on coastline, coastal ecosystems, natural resources and infrastructure.

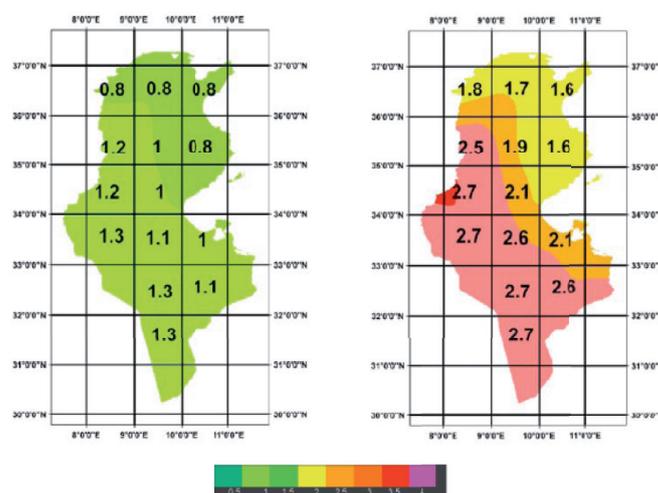
In conclusion, climate change would lead to major harmful impacts on ecosystems, health and economy (in particular the agriculture and tourism sectors) and important social consequences particularly within population in the poor areas of the country which revenues are highly dependent on agricultural activities and natural resources utilization.

IV.1. Projections of average annual and seasonal temperatures by 2020 and 2050

Projections using HadCM3 model under A2 scenario show overall increases in average annual temperatures of 1.1°C by 2020 and 2.1°C by 2050 compared to the reference period 1961-1990 with the highest increases occurring in the South with 1.3°C by 2020 and 2.7°C by 2050 (Figure below).

Furthermore, dry years will become more frequent and more intense by 2030, and extremely dry and humid periods will vary between seasons.

Average annual temperature increases in °C from baseline (1961-1990) by 2020 (left) and by 2050 (right) using HadCM3 model under A2 scenario



(Source: Ministry of Agriculture and Water Resources, 2007)

IV.2. Projections of average annual and seasonal precipitations (rainfall) by 2020 and 2050

Projections using HadCM3 model under A2 scenario show overall decrease in mean precipitations. This decrease is relatively moderate by 2020 but will intensify by 2050. By 2020, the annual rainfall decrease varies between -5% in the North and -10% in the extreme South.

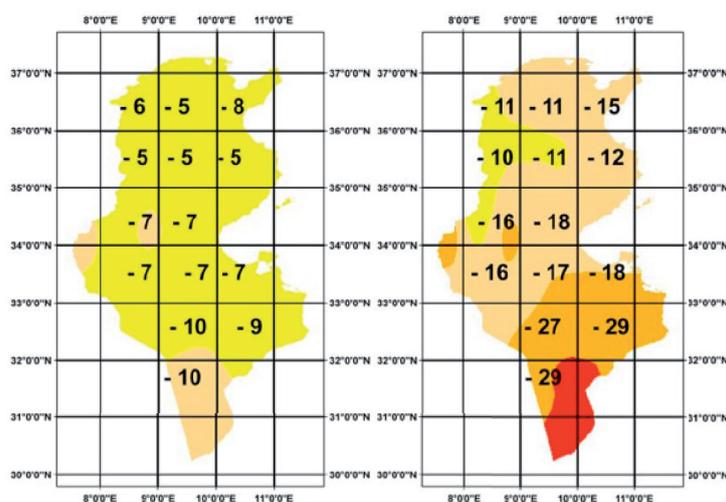
By 2050, the rainfall decrease varies between -10% in the Northwest and -30% in the extreme South of the country. Three areas can be differentiated: the

extreme West of the country with a low decrease in average annual rainfall (-10%), the South with the most severe decrease (-29%) compared to the rest of the country in which this decrease varies from -12% to -16%.

Regarding seasonal changes by 2020, it is projected that the lowest reduction in rainfall will occur in winter (0% to -7%) where the most important decrease (-8% to -40% from North to extreme South) will occur in summer.

The situation in autumn and spring is intermediary with a rainfall decrease varying from -6% to -12% in the extreme South. The seasonal changes are widely the same by 2050.

Average annual rainfall decrease (in %) from baseline (1961-1990) by 2020 (left) and 2050 (right) using HadCM3 model under A2 scenario



(Source: Ministry of Agriculture and Water Resources, 2007)

IV.3. Conclusions - other results

The climatic projections for Tunisia by 2020 and 2030 were established on the basis of the results of HadCM3 model. The two most probable average scenarios (A2 and B2) were privileged. The A2 scenario was used as reference scenario for water, agro-systems and ecosystems groups.

The climatic projections show that increases in average annual and seasonal temperatures is predictable. In addition, significant decreases in annual and seasonal precipitations are also predictable. Nevertheless, uncertainties are higher in these cases.

The seasonal variability of precipitations is likely to decrease slightly compared to the reference period 1961-1990, and a trend of an overall increase of drought probability is noteworthy.

Drought can be considered as the most significant fact of the climatic projections as number and intensity of drought years would increase. The frequency of drought years is projected to increase by 10% to 30% by 2050.

IV.4. Water resources vulnerability to climate change

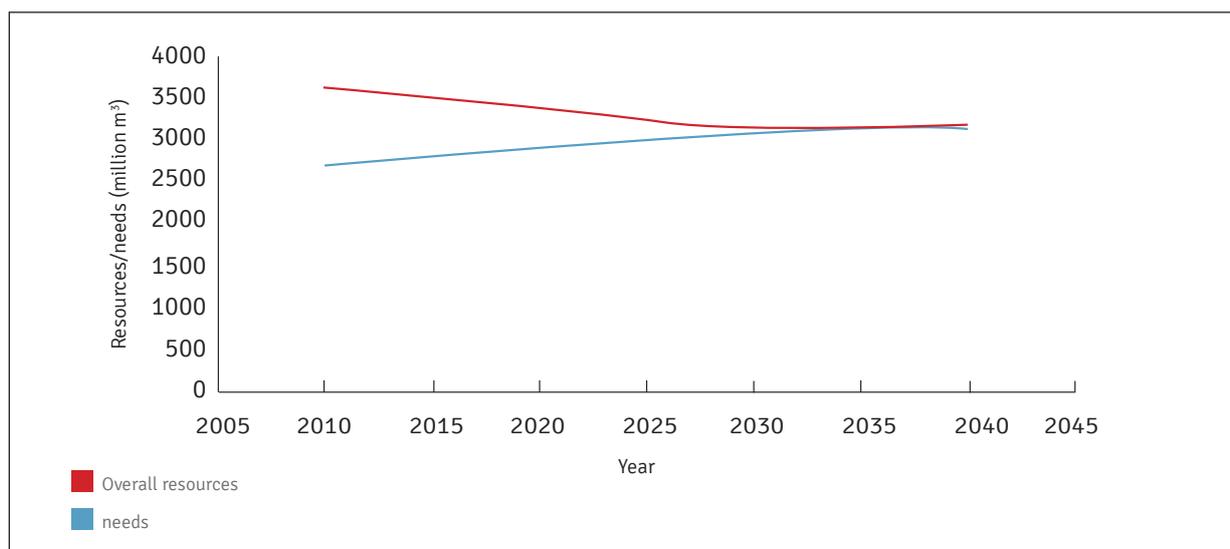
The models show that conventional water resources will decrease of about 28% by 2030. This decrease will mainly affect shallow aquifers with high salinity, coastal aquifers and non-renewable aquifers. In particular, the decrease in surface water reserves will be of about 5% by 2030.

The confrontation between available water resources and increasing water demand shows that this demand will not be met by 2030 without the implementation of more efficient water conservation strategies and programmes of activities.

A delay in the implementation of these strategies and programmes of activities would result in imbalance and consequently a water scarcity before 2030.

Thus, dams' management and the effective implementation of different water conservation strategies at all levels would play an essential role in the future availability of water resources in Tunisia. The minimization of climate change impacts on water resources would therefore require the improvement of water resources management through adaptation via the development of the techniques, traditions, behaviors and utilizations.

Evolution (in million m³) of overall water resources (in blue) and needs for water (in red) in Tunisia taking into account climate change impacts on water resources



(Source: Ministry of Agriculture and Water Resources, 2007)

IV.5. Impacts of climate change on ecosystems

Impacts on forest and pastoral ecosystems (forest-covered and steppe-covered)

The forest and the rangelands (forest and steppe formations) have high influence on 47% of the total agricultural area. The national livestock, mainly constituted of cattle, sheep, goats and camels, uses natural rangelands.

The fodder production varies depending on vegetal formation, bioclimate and the years but relatively still with poor return. This variability, conditioned by

rainfalls regimes, is to result in over-exploitation of rangelands in the years with low rainfalls by farmers which habitually exploit fallow lands and stubble-fields.

Conversely, favorable years in terms of rainfall allow the farmers to increase their livestock which could be a supplementary load per hectare.

Thus, one of the major reasons of the degradation of the plant-cover and the observed decrease of its production capacity is the increase of the livestock which apply an excessive load on the plant-cover. The forest is negatively affected, low productive and has regressed in area where steppe rangelands of the Centre and the South are in a stage of advanced

degradation and highly exposed to water and wind erosion.

Due to their capacity to adapt to climate change and taking into account the implementation of relevant strategies engaged by the ministry of agriculture, it is foreseen that natural forests would increase in terms of surface area by 2030. However, the temperatures' increase would make biomass flammable and would therefore lead to increasing the risk of forest fires, in particular in the North of Tunisia. This would directly threaten a number of socio-economic activities (threats on certain dumps, landslides, etc.).

Besides the fire risk, an outbreak of invasive species would also occur.

The natural forest rangelands would not increase their productive function but rather they would be better managed (through the strategy on water and soil conservation)

Climate change impacts on soils

Soils play an important role to safeguard ecosystems and agro-ecosystems functions. The soil degradation is a fact in Tunisia. The natural circumstances, the anthropogenic pressure (overgrazing, over-exploitation of aquifers) and the inadequate natural resources management are the main causes exposing soils to multiple risks (water and wind erosion, salinization, etc.) which lead to desertification at a large scale and therefore threaten even the existence of number of ecosystems.

Because of the increased occurrence of droughts and other extreme events due to climate change and the decrease of plant-cover, some soil categories would be eroded much easier and their fertility would highly decrease. Some soils which are currently fertile (i.e. in the area of the Tunisian Tell) would be much vulnerable to erosion.

Climate change impacts on humid ecosystem zones

The submersion by sea-level rise due to climate change of certain low-lying humid areas will incontestably lead to new equilibriums within the ecosystems, the creation or the disappear of new landscapes, the degradation or the improvement of the environments' conditions. The future of these zones is although extremely conditioned by anthropogenic activities on coastline areas.

IV.6. Analysis of programmes contributing to ecosystems adaptation to climate change

Strategies in favour of biodiversity protection and combating desertification but have to be reinforced in the perspective of climate change

Among national strategies aiming the improvement of ecosystems resilience to climate change, we can mention the programmes to combat desertification and the biodiversity strategy based on the preservation of biotopes habitats and genes, and a sharing responsibility between resources' users and beneficiaries. Among the achievements, we can mention the creation of 26 protected areas (8 national parks) and the creation of the National Bank of Genes.

Despite the implemented programmes of biodiversity conservation, climate change imposes the strengthening and the development of current mechanisms to cope with future challenges and to mitigate the process of resources degradation.

The national strategy on the adaptation of agriculture and ecosystems to climate change (Ministry of Agriculture, 2007) focused on three strategic axes: rehabilitating ecosystems, integrating an economic value of the regulating functions of ecosystems, and valorizing the environmental services of ecosystems. Nevertheless, few actions were integrated in an efficient manner in the sector-based strategies.

An exemplary water policy but not considering enough the constraints of climate change

The management and the conservation of water resources are a priority within the Tunisian policy in the fields of development and environmental protection considering the pressures applying to these important resources.

Tunisia has faced and still facing a difficult equation consisting on the one hand to satisfy increasing demand and sectoral needs and on the other hand to protect quantitatively and qualitatively the water resources by adopting innovative techniques to rationalize water consumption and to promote non conventional water resources.

Important efforts have been achieved in order to mobilize and stock up on water which led to reach a mobilization rate of 95% of the conventional water resources.

A programme to artificially feed of some aquifers was implemented in order to protect them from salinization and flow decrease. Thus, 63 million m³ were used to feed 20 aquifers which allowed improvement of their quality, in particular for the coastal aquifers.

In addition, the strategy on the mobilization of water resources targets the development of the integrated management of these resources, controlling the demand, the development of non conventional resources and the protection of water resources from pollution and over-exploitation.

Although the policy and the tools for water management are generally complete, a lack regarding the mainstreaming of the additional constraint of climate change at the institutional, economic and cross-cutting (in relation with other sectors) levels is recorded.

IV.7. Vulnerability of the agricultural sector to climate change

Soil occupation by crops

In case of slow liberalization of the agricultural sector (scenario 1), the areas occupied by cereals would decrease from 1 229 000 ha to 1 027 000 ha by 2016 (a 16% decrease). By 2030, these areas would decrease from 1 021 000 ha to 854 000 ha (a 20% decrease).

In addition, and under the scenario 1, the areas occupied by olive trees would decrease from 1 568 000 ha to 941 000 ha by 2016 which represents a decrease of about 40%.

In the case of a rapid liberalization of the agricultural sector (scenario 2), the areas reserved to cereals and arboriculture would decrease at the same pace in the case of slow liberalization of the agricultural sector (scenario 1).

Irrigated crops and their water needs

According to forecasts, the areas reserved to irrigated crops would slightly decrease from 389 000 ha during the period 2006-2011 to 376 000 ha by 2030, under a first scenario of a slow opening of the agricultural sector to markets; and from 388 000 ha to 376 000 ha under a second scenario of a rapid opening of the agricultural sector to markets.

The needs in water for irrigation would reach almost 1.2 billion m³ by 2030 whatever the considered scenario. This water demand has to be compared to availability deducted from water resources forecasts under climate change.

Agricultural GDP

Following crops areas decrease and considering the same yields in the reference situation, the agricultural GDP would decrease of 2.5% in 2011, 4.1% in 2016 and 5.1% in 2030 under scenario 1. This decrease would be respectively of 2.9% in 2011, 3.1% in 2016 and 9.6% in 2030 under scenario 2.

IV.8. National strategy on the adaptation of the agricultural sector to climate change

Aware of the serious impacts of climate change on agriculture (crops losses, abandoning of certain crops, etc.) and considering the lack in the national institutional framework, the Tunisian ministry of agriculture elaborated in 2007 a national strategy and action plan on the adaptation of the agricultural sector, water resources and ecosystems (focusing on agro-ecosystems) to climate change.

The strategy and action plan are centered on three axes: (i) overcoming short term crisis management through a risk adaptation strategy linked to climate change (ii) integrating climatic volatility within agricultural and economic policies of the country, and (iii) managing the socio-economic consequences set to impact the agricultural sector in an integrated manner between the economic sectors.

The conceived actions in the context of these aforementioned axes have economic, institutional and technical aspects. The adaptation, the strict implementation of the Agricultural Map (soils and crops vocation), the land-reconversion imposed by climate change and setting up insurance indexed to extreme climate events are the major actions maintained for agro-systems adaptation to climate change.

Nevertheless, many barriers still to overcome in order to implement the adaptation strategy, mainly the barriers related to the lack of adequate capacities and means within the concerned institutions enabling them to implement innovative policies and instruments (i.e. insurance indexed to extreme climate events).

IV.9.Environmental and Socio-economic vulnerability of the Tunisian coastal areas and ecosystems to an accelerated sea-level rise due to climate change

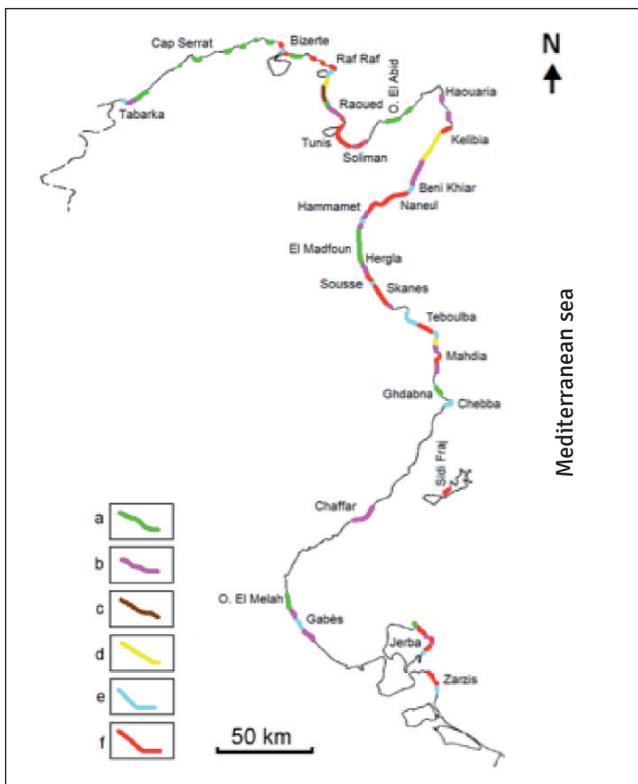
Major environmental impacts of sea-level rise

In Tunisia, the most important risks linked to sea-level rise are coastal erosion, salinization of coastal aquifers and submersion of low-lying coastal areas. The impacts of sea-level rise are more severe in the areas with low-relief coastal landforms and with soil consisting of loose and permeable materials. Cliffs and rocky coasts are less vulnerable to the risk associated with sea-level rise. Cliffs with smooth escarpment are subject to top retreat and slides. The phenomenon of marine erosion represents a serious threat for several segments of the Tunisian coastline and sea-level rise would accelerate and exacerbate this phenomenon. Low-lying coasts with value developments will be the most vulnerable areas.

Cliffs and low-lying rocky coasts of the northern coastline are the least vulnerable to a positive variation of sea average level. The corresponding coastlines are respectively 390 km (cliffs) and 263 km (low-lying rocky coasts).

Shaped in carbonate formations which offer sufficient resistance, low-lying rocky coasts will be affected by waves but with no severe erosion. Regarding the cliffs consisting of loose materials, the erosion will be more severe following a sea-level rise of some decimeters. The consequences will be more difficult to estimate as concerned high cliffs in contact with deep sea waters.

Sandy beaches in Tunisia: vulnerability to sea-level rise



- a) Beaches still well developed and with no signs of erosion or beaches with fattening signs ;
- b) Beaches which still large besides the existence of important developments on shore;
- c) Beaches showing top retreat signs besides the absence of any development on shore ;
- d) Beaches which are moving to continent ;
- e) Beaches with contrasted evolution on short distances
- f) Beaches under severe erosion and sometimes requiring interventions to protect them.

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

Areas subject to submersion risk are mainly humid areas (marshlands, saltmarshs, sebkhas (salt flats) and chotts (dry salt lakes)) with considerable consequences on biodiversity, ecological balances, coastal, harbour, hotel, housing developments and basic infrastructures.

Up to 8% (127 km) of the total linear coast is affected by erosion. Many coastal dunes already disappeared or in the process of disappearing. Naturally-fattened

beaches represent only 1% of the total coastline, which corresponds to 16 km.

At the physiographic level, a sea-level rise coupled with more frequent storms will lead to coastline changes; exacerbate beaches' erosion and cause mobility of sand spits. Four levels of beaches vulnerability were recorded and are mentioned in the following table.

Levels of beaches vulnerability (beaches and low-lying coasts) to sea-level rise

Level of vulnerability to sea-level rise	Total linear in %	Rate (in %) compared to beaches and low-lying coasts
Cliffs	23	-
Level 1 : beaches not vulnerable	2	2
Level 2 : beaches with low vulnerability	44	58
Level 3 : beaches with moderate vulnerability	16	21
Level 4 : beaches with high vulnerability	15	19
Total	100	100

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

Almost 40% of the beaches and low-lying coasts are considered as averagely vulnerable to highly vulnerable to sea-level rise. Among these beaches, which represent 31% of the total coastline, the golfs of Hammamet (40% of these beaches) and Tunis (30%), The isles of Kerkennah (14%) and Djerba (24%) are the most vulnerable beaches.

Impacts on coastal freshwater resources

In Tunisia, water tables are mainly located on the coastline. In the case of a sea-level rise and with no efficient adaptation measures, these tables will be threatened by sea water intrusion and therefore salinization. The level of vulnerability of these water tables is particularly high due to strong anthropogenic pressure from high population density, human settlements and intense economic activities on the Tunisian coastal areas. Furthermore, this pressure will be shifted to deep aquifers to compensate for water shortage.

**Projected Losses in coastal freshwater resources following sea-level rise by 2050
(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)**

Number of vulnerable coastal freshwater tables	22
Total reserves of coastal fresh water tables	288 million m ³ per annum
Total area covered by coastal fresh water tables	11000 km ²
Vulnerable area	1400 km ²
Losses in coastal freshwater tables due to marine intrusion and salinization	152 million m ³ per annum
Losses (%) compared to total resources of coastal freshwater tables	53%

Marine intrusion would lead to losses of 53% in total freshwater reserves from coastal water tables and therefore to serious social and economic impacts.

Impacts on coastal infrastructures

Almost 1% of the overall coastline is protected using various structures. Among these structures, dikes (sea walls) consisting of rocky banks are the most used (55%) followed by the offshore breakwaters (25%). Also, groynes are used to prevent marine erosion of the shorelines along the entrance channels inside the seaports.

Tunisia has 41 fishing ports, 6 commercial ports and 10 marinas. Sea-level rise would lead to significant economic losses, in particular increasing costs related to the management and the maintenance of these ports which would be difficult to take in charge. Although the majority of the ports are protected by dikes consisting of rocky banks or artificial concrete blocks, a sea-level rise inter alia following heavy swell would lead to the submersion of these protection structures.

Socio-economic vulnerability of the Tunisian coastline

In the context of the present report, analysis of the socio-economic vulnerability of the Tunisian coastline means assessment, by 2050, of the direct social and economic impacts, and costs of environmental degradation or indirect impacts following ecosystems degradation due to sea-level rise.

Direct impacts

Direct impacts are losses in productive potential of vulnerable sectors, mainly agriculture, tourism and craft industry, and fluctuations in productivity of main natural assets which are water, soil and beaches.

The assessment of loss in economic capital is based on the value of provided services. It is estimated at 3.6 billion Tunisian Dinars, which is about 10% of the GDP. Tourism would be the most affected sector, followed by residential areas and water resources.

Value of degraded productive capital (in million Tunisian Dinars: MDT) by 2050

Degraded capital	Amount in MDT
Agricultural soils and spontaneous vegetation	30
Developed residential areas	704
Water resources: losses in irrigated areas	290
Water resources: losses in « water capital »	579
Tourism	1 935
Infrastructures	53
Total	3 592

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

The annual losses in production will mainly concern agricultural, fishing and tourism activities. These losses are evaluated at 182 million Tunisian Dinars per annum, which represent 0.5% of the 2006 GDP at constant prices.

Annual variations in production (in million Tunisian Dinars: MDT)

Affected activity	Value of the production variation per annum (MDT)
Agriculture	-81
Tourism	-102
Fishing	+1
Total	-182

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

The losses in agricultural production, estimated at 81 million DT per annum (2% of the agricultural added-value), are due to the submersion of agricultural areas and loss in irrigation potential following the salinization of coastal water tables. The existing irrigated areas would be reduced by 10%. The losses in the tourism sector are estimated at 56% of the total annual losses in production resulting from

the downgrading of a number of hotels and the disappearance of beaches. Only fishing sector would register a slight increase in production equivalent to 1 million DT per annum.

In addition, sea-level rise would lead to the net loss of about 35 000 jobs which represents 1% of the total active population. Only fishing sector would gain about 400 jobs.

Foreseeable sea-level rise impacts on employment by 2050

Affected activity	Net job losses / gains
Agriculture	-34 165
Tourism	-1 012
Fishing	+390
Total	-34 787

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

Cost of environmental degradation due to sea-level rise

The cost of the physical impacts of sea-level rise on coastline, water resources, soil and vegetation has to be added to the above-mentioned costs. According

to World Bank study on the cost of environmental degradation in Tunisia (achieved in 2004), the cost of environmental degradation due to sea-level rise was estimated at nearly 0.13% of the GDP per year, as shown in the table below:

Cost of environmental degradation due to sea-level rise (in % of GDP)

Environmental category	Percentage of GDP
Water	0.09
Soil and Forests	0.002
coastline	0.04
Total	0.132

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

Synthesis of the impacts due to sea-level rise

The cost of the environmental degradation added to the direct economic losses as previously estimated (0.5% of the GDP per annum) show that the total cost

due to sea-level rise is equivalent to 0.63% of the GDP per year. This cost is significant and would lead to noticeable negative impacts on the economic growth of the country.

Synthesis of costs/economic and environmental losses associated to the impacts of sea-level rise

Affected activities	million DT per year	% of GDP per year
Economic losses	181	0.5
Agriculture and fishery	80	0.2
Tourism	101	0.3
Cost of environmental degradation	47	0.13
Total costs and losses per year	228	0.63

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

IV.10. National strategy for adaptation to sea-level rise

Technical measures

Aware of the magnitude of sea-level rise impacts, the Tunisian ministry for environment has elaborated, in 2007 and in co-ordination with all national stakeholders, a sea-level rise adaptation strategy for the Tunisian coastline.

In addition, an action plan for the implementation of this strategy has been elaborated. This action plan includes in particular the reinforcement of sea-

level rise surveillance and monitoring, and technical measures for restoring degraded coasts, preserving coastal water resources, ecologic and halieutic resources and protecting coastal infrastructure.

Cost and financing of the action plan Action plan cost structure

The total cost of the action plan for the adaptation of the Tunisia's coastal areas to sea-level rise is estimated at 1461 million DT (nearly 1 billion US dollars in 2007). The following table summarizes costs of the main adaptation measures identified in the action plan.

Cost of the action plan in million Tunisian Dinars (DT)

	Cost in million DT 2007	Intangible investment	Tangible investment
Sea-level rise surveillance and monitoring	1	1	
Adaptation of low-lying areas	863	75	788
Adaptation to marine erosion	318	35	283
Adaptation of coastal water resources	100	35	65
Adaptation of ecological resources	93	17	76
Adaptation of port facilities	56	-	56
Adaptation of rain removal infrastructure	30	-	30
Total	1 461	163	1 298
Percentage (%)	100	11	89

(Source: Ministry of Environment and Sustainable Development, 2008)

The tangible investments (works, facilities, infrastructure for protection, etc.) represent almost 89% of the total cost of the action plan whereas the intangible investments corresponding to the accompanying, monitoring and capacity building measures represent 11% of the total cost. It is important to indicate that the total cost of the action plan represents 40% of the value of the productive capital which would be lost if no adaptation measures were taken.

The payback period to recover the cost of the action plan is estimated at 8 years if only direct economic impacts are considered and at 6 years if the cost of environmental degradation is taken into consideration, which clearly demonstrates the benefit (for the nation) from investing to implement the action plan.

Financial aspects of the action plan

Availability of necessary funding to implement the action plan represents a serious barrier which can be overcome by exploiting international financing opportunities to support climate change adaptation in developing countries. Thus, the proposed funding sources include international related funds, in particular those of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), the national budget, contributions from concerned private entities and funding from Official Development Assistance (ODA) in the form of grants or concessional loans. The use of each funding source has to be closely linked to the nature of the adaptation measures to be undertaken and the extent of the required investments.



Introduction

La Tunisie a ratifié la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) le 15 juillet 1993. A ce titre, elle s'est engagée à communiquer à la Conférence des Parties (COP) les informations relatives à ses émissions anthropiques dans les différents secteurs d'activités mais également au sujet des programmes et actions mis en œuvre en vue de les atténuer et de faciliter une adaptation appropriée aux impacts des changements climatiques ainsi que toute autre information jugée utile pour atteindre l'objectif de la convention.

Egalement, la Tunisie a ratifié le protocole de Kyoto en juin 2002, et ce avant son entrée en vigueur le 16 février 2005.

Le présent rapport, qui constitue la Seconde Communication Nationale de la Tunisie à la CCNUCC a été élaboré sous la coordination du ministère chargé de l'environnement, en collaboration avec les différents ministères, institutions et organismes concernés.

Il importe de signaler que la présente communication nationale reflète la situation en Tunisie en relation avec les changements climatiques à la fin de l'année 2010.

La présente communication nationale de la Tunisie à la CCNUCC comprend cinq chapitres.

Le premier chapitre est un résumé exécutif de la communication nationale.

Le deuxième chapitre est consacré au contexte national de la Tunisie. Il rend compte de la situation climatique, de l'évolution démographique du pays, de ses réalisations économiques et éducatives, et des activités des secteurs ayant un lien plus ou moins direct avec les gaz à effet de serre (GES) et leurs conséquences sur les changements climatiques (CC). Un tableau synthétique des indicateurs sur l'état d'évolution des circonstances nationales y est intégré.

Le troisième chapitre présente et analyse l'Inventaire national des émissions de GES pour l'année 2000, réalisé selon la méthodologie de l'IPCC (telle que révisée en 2006) et les recommandations des conférences des Parties de la CCNUCC. Ce chapitre examine les émissions de GES agrégées en termes de tonnes équivalent CO₂ (TECO₂), la pertinence des analyses des émissions par secteur, le contrôle de qualité et la comparaison aux données de l'inventaire précédemment réalisé ainsi que le bilan en matière d'absorption des puits de carbone pour l'ensemble du pays.

Le quatrième chapitre passe en revue les initiatives nationales entreprises et programmées pouvant contribuer à l'atténuation des émissions de GES. Il présente les dispositions législatives et institutionnelles ainsi que les mesures prises dans tous les secteurs économiques afin de contribuer à l'atténuation des émissions de GES.

Ce chapitre comporte également une analyse comparative des résultats de l'action d'atténuation des émissions de GES par secteur, et une évaluation des performances de l'économie nationale en la matière, entre la présente communication et la communication Initiale de la Tunisie à la CCNUCC (octobre, 2001).

Le cinquième chapitre présente les impacts des changements climatiques sur la Tunisie, modélisés sur une longue période, et une synthèse des études réalisées en matière d'évaluation de la vulnérabilité et des options d'adaptation. Ces études portent en particulier sur l'analyse de la vulnérabilité et les mesures d'adaptation dans le secteur de l'agriculture, et dans les domaines liés à la protection des ressources naturelles et des écosystèmes.

Egalement, une étude sur l'évaluation des impacts environnementaux et socio-économiques liés à l'élévation accélérée du niveau de la mer (EANM) et l'élaboration d'un plan d'action d'adaptation, a été réalisée.



01

Contexte national

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET RELIEFS

La Tunisie est située au nord de l'Afrique, sur la rive sud de la Méditerranée et à la jonction entre les bassins oriental et occidental méditerranéens. Le territoire tunisien est délimité par les lignes de longitude 7° et 12° Est, et les lignes de latitude 32° et 38° Nord. La Tunisie n'est séparée de l'Italie que par le détroit sicilo-tunisien large de 140 km. Sa position géopolitique stratégique en fait une plaque tournante idéale pour accéder aux marchés européen, maghrébin, arabe et africain.

La superficie totale du pays est de 164 000 km², dont environ la moitié est cultivable, soit 8,7 millions d'hectares.



La population est estimée à environ 10 327 800 habitants au 1^{er} juillet 2008, avec un taux d'accroissement annuel de l'ordre de 1% en moyenne, et un pourcentage de population urbaine de près de 63%.

La Tunisie possède 1 300 km de côtes, sur ses deux façades est et nord.

Caractéristiques géographiques et climatiques

Caractéristiques	Unité	Valeur
Superficie totale	km ²	163 610
Altitude maximale	m	1544
Altitude moyenne	m	744
Longueur totale de la côte	km	1300
Longueur de la principale rivière (Medjerda)	km	484
Superficie du principal lac (Ichkeul)	km ²	87
Précipitation moyenne	mm	300
Température moyenne :		
En décembre	°C	12
En juillet	°C	30

La Tunisie est divisée en deux grandes zones géographiques, séparées par des dépressions successives occupées par les Chotts El Gharsa, Djerid et Fedjej, alignés d'ouest en est. La partie nord est traversée en diagonale (SW-NE) par la Dorsale de Tunisie, chaîne montagneuse résultant de la réunification des atlas tellien et saharien. On y distingue :

- une zone nord occidentale à reliefs tourmentés délimitant une série de hautes plaines
- une zone sud orientale d'allure basse et vallonnée s'étendant jusqu'au littoral.

Les confins centre-ouest du pays qui s'étendent au sud de la Dorsale de la Tunisie, sont dominés par des hauts plateaux jouxtant des sommets montagneux bas et épars, et sont occupés par des steppes (basses et hautes) dont la végétation est dominée par l'alfa (*Stippa Tenacissima*).

La partie sud est constituée essentiellement par la plateforme saharienne dont la bordure orientale est représentée par les chaînes des Matmata et du Dahar (600 m) qui délimitent deux domaines différents :

- la plaine côtière de Jeffara à l'est ;
- le plateau du Dahar s'étendant en pente douce (1 à 2°) vers l'Ouest.

2. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

La latitude relativement élevée de la Tunisie et son étirement géographique du sud au nord lui confèrent la succession des zones climatiques suivantes :

- subhumide à l'extrême Nord ;
- semi-aride au Nord-ouest et au Cap Bon ;
- aride dans la Tunisie centrale ;
- désertique pour tout le Sud.

De ce fait, le climat est essentiellement irrégulier selon les saisons et aride, rendant indispensable la prise en compte de tous les facteurs influençant les ressources en eau. Les pluies se répartissent selon la direction des vents dominants d'hiver (Nord-ouest) et la disposition des reliefs. Dans le nord, la pluviométrie est supérieure à 400 mm/an et atteint 1500 mm/an à l'extrême Nord-ouest. Au centre, on enregistre 150 à 300 mm/an, tandis qu'au sud, les pluies deviennent plus rares (moins de 150 mm/an) et à l'extrême sud, la pluviométrie ne dépasse guère 50 mm/an.

Il pleut en moyenne l'équivalent de 36 milliards de m³/an. Cette pluviométrie peut cependant varier selon les années. Ainsi les années de sécheresse ou d'excédent pluviométrique peuvent s'alterner ou se succéder.

2.1 Facteurs de variation spatio-temporelle des pluies en Tunisie

Les caractéristiques de la circulation atmosphérique et les facteurs géographiques secondairement sont à l'origine des variations spatiale et temporelle des pluies.

2.1.1 Influence de la circulation atmosphérique

Située entre les processus climatiques instables de la zone tempérée, au nord et ceux stabilisateurs des déserts tropicaux, au sud, la Tunisie s'inscrit selon les saisons, dans l'un ou l'autre de ces deux types de processus opposés.

En été, la remontée des hautes pressions subtropicales vers le nord, surtout en altitude, favorise un climat stable, chaud et relativement peu variable dans le temps et dans l'espace.

En hiver et en intersaisons, au contraire, le retrait des hautes pressions subtropicales vers le sud, permet à la Tunisie, de bénéficier à partir du mois de septembre, d'un climat ouvert aux perturbations frontales et aux masses d'air d'origines différentes. De ce fait, le temps est le plus souvent perturbé, changeant, avec des précipitations fréquentes. Les pluies sont induites par les perturbations de la Méditerranée occidentale et orientale, ainsi que par celles du nord du Sahara se déplaçant vers l'Est et vers le Nord-est.

Deux tiers des perturbations proviennent de la Méditerranée occidentale. De ce fait, les pluies occasionnées sont plus importantes sur les régions septentrionales que sur le Centre et le Sud.

2.2.2 Facteurs liés au relief

Le relief de la Tunisie se caractérise par quatre grands ensembles :

- Le Tell situé au Nord de la Tunisie (Kroumirie-Mogods, Le Haut Tell, Tell du Nord-est), et caractérisé par un mélange de reliefs montagneux et de plaines ;
- La dorsale qui est représentée par une chaîne de montagnes, correspondant à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien, culminant à 1544 m, et s'étirant dans la direction Sud-ouest/Nord-est jusqu'au Cap Bon ;
- Les steppes (basses steppes et hautes steppes) représentant la Tunisie centrale, et regroupant un ensemble de plaines et de montagnes s'étendant des pieds de la dorsale jusqu'au nord de Gafsa ;
- Le Sud (région de Gafsa, le Sahara, Le Dahar, La Jeffara), formant une vaste zone formée d'un mélange de reliefs très variés : montagnes, plateaux, plaines et

enfin relief saharien s'étendant jusqu'aux frontières avec la Lybie et l'Algérie.

2.2 Précipitations et variations spatio-temporelles

Le niveau des précipitations varie selon les années et les régions. Les quantités moyennes annuelles calculées sur 80 ans (1901-1980) montrent:

- une répartition spatiale très contrastée, de 1500 mm dans les régions élevées de l'extrême Nord-ouest à moins de 100 mm (ou même 50 mm) dans l'extrême sud, et
- un volume global de pluies faible. En effet, seul le tiers Nord-ouest du pays bénéficie d'un total annuel de précipitations de 400 mm ou plus. Dans les régions au sud de la Dorsale (2/3 de la superficie du pays), les moyennes varient de 350 à 50 mm. Les zones recevant 100 mm en moyenne couvrent à elles seules le tiers de la superficie totale.

2.2.1 Variations interannuelles

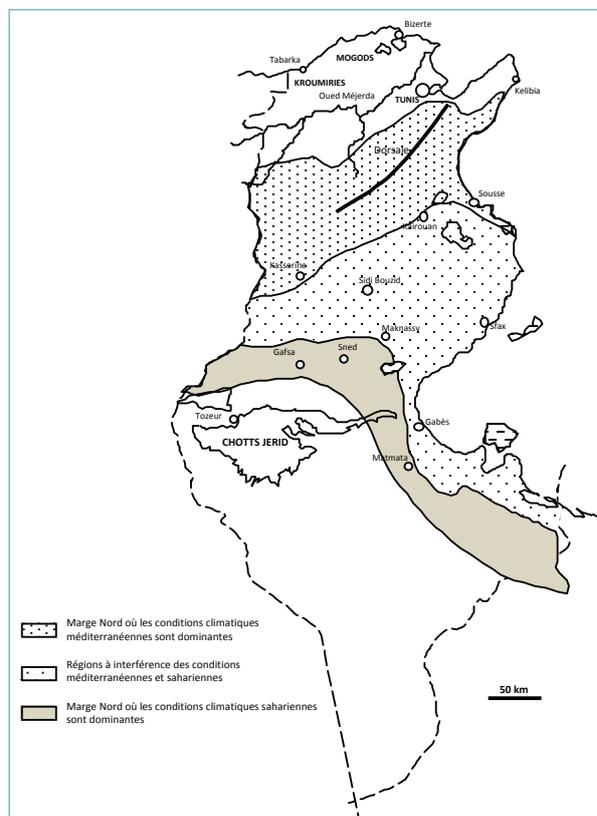
A l'échelle des années, la pluviosité est très irrégulière et varie selon les régions.

L'extrême Sud et le Sud-ouest du pays enregistrent des valeurs peu élevées. L'isohyète 400 mm n'arrive jamais à ces latitudes. Le total annuel de 200 mm n'est atteint que très rarement. L'isohyète 100 mm délimite ces régions, par le Nord, dans 60 à 90% des années.

L'extrême Nord-ouest (régions de Kroumirie et des Mogods) connaît une variabilité assez importante. Sur toutes les années, les totaux annuels se sont maintenus à des niveaux élevés, caractéristiques des régions méditerranéennes à tendance humide.

Le reste de la Tunisie (du sud de la vallée de la Medjerda jusqu'aux hauteurs de Gafsa, y compris le golfe de Gabès) a connu une très forte variabilité des pluies, caractéristiques du domaine saharien, steppe ou méditerranéen.

Zonage climatique de la Tunisie



2.3 Variations saisonnières

La période des pluies se situe en général en Tunisie entre septembre et mai. En été, les pluies sont quasi-absentes. Quatre zones sont à distinguer en matière de régime pluviométrique :

- La Tunisie tellienne qui connaît un maximum pluviométrique en hiver, durant les mois de décembre et de janvier et en automne sur la côte.
- Les régions littorales orientales, du golfe de Hammamet jusqu'au sud du golfe de Gabès, ont un maximum pluviométrique moyen qui se situe en automne, au mois d'octobre.
- La région des Hautes Steppes à l'ouest de la Tunisie centrale, possède un régime bimodal, avec deux maxima et deux minima. Le premier maximum se situe en automne, en octobre, et le deuxième en mars, au printemps. Les minima se situent quant à eux en hiver, au mois de décembre et en été, au mois de juillet.
- Le Sud-ouest du pays ne connaît pas de saison particulièrement marquée par un maximum pluviométrique. Les mois d'octobre et de mars seraient potentiellement les mois les plus pluvieux.

2.4 Insolation, rayonnement solaire global et températures moyennes

2.4.1 Insolation et rayonnement solaire global

La Tunisie bénéficie d'une durée d'insolation moyenne relativement importante. Ainsi, les deux tiers Sud du pays bénéficient d'une durée d'insolation supérieure à 3000 heures par an, avec des pics de 3200-3400 heures sur la côte sud du pays (Golfe de Gabès), alors que la durée minimale d'insolation dans le tiers nord se situe entre 2500 et 3000 heures par an.

Au niveau mensuel, la durée moyenne d'insolation varie de 4 à 7 heures/jour en hiver, et de 10 à 12 heures/jour en été. De telles données confirment que la Tunisie dispose d'un gisement d'énergie solaire intéressant.

En ce qui concerne le rayonnement solaire global, la moyenne quotidienne se situe entre 4,2 kWh/m²/jour au Nord-ouest, et 5,4 kWh/m²/jour à l'extrême sud. Cependant, la majeure partie du territoire national (plus de 80%) se situe dans la frange supérieure à 4,75 kWh/m²/jour.

2.4.2 Températures moyennes

Les moyennes annuelles de températures sont en général élevées, entre 16°C et 20°C. Elles dépassent 18°C pour les trois quarts du pays. Les étés sont très chauds, avec des températures moyennes le plus souvent supérieures à 25°C, atteignant et même dépassant 32°C dans le sud. Les maxima moyens se situent, dans la plupart des stations, entre 30°C et 38°C.

L'hiver est au contraire doux, avec de maxima moyens supérieurs à 15°C, sauf pour les régions en altitude dans l'ouest du pays. Les minima varient de 4°C à 8°C. Ces niveaux de température favorisent l'évapotranspiration.

Le Sud-ouest connaît la saison chaude la plus longue. De mai à octobre, la température mensuelle moyenne dépasse 20°C. En revanche, les régions en altitude

situées à l'Ouest et au Nord-ouest (hautes steppes) connaissant les températures les moins élevées.

3. DEMOGRAPHIE ET DEVELOPPEMENT HUMAIN

3.1 Population

La Tunisie a près de 10,3 millions d'habitants [1^{er} juillet, 2008] et une densité au km² de 65,6 habitants [2007]. La croissance démographique est bien maîtrisée depuis longtemps suite à l'application d'une politique efficace de planning familial, conjuguée à un effort de scolarisation des filles et d'encouragement du travail féminin. Tout ceci a aidé à ramener l'indice moyen de fécondité à 2 enfants par femme. Le taux de croissance démographique avoisine 1% depuis 1999, comparé à 1,9% en moyenne, pour le Moyen Orient et le reste de l'Afrique du Nord.

Toutefois, la population de la Tunisie demeure relativement jeune. Ceux de moins de 15 ans représentaient 26,7% de la population totale en 2004 (contre 36,7% en 1990). Les personnes âgées de 60 ans et plus représentent 9,3% de la population totale comparé à 7,7% en 1990.

La stratégie de développement adoptée par la Tunisie depuis l'indépendance (1956) s'est également focalisée sur la promotion de l'éducation, en rendant la scolarisation obligatoire, gratuite et généralisée. 8% du PIB en moyenne sont consacrés à l'éducation, à l'enseignement supérieur et à la formation des jeunes. Actuellement, le taux de scolarisation atteint 99%.

3.2 Développement humain

Le rapport publié en 2006 par le PNUD a octroyé à la Tunisie un IDH de 0,762, et l'a classée au 95^{ème} rang (sur 179 pays). Un certain nombre d'indicateurs corrobore cette situation. La Tunisie dispose d'une importante classe moyenne, qui représente près de 80% de la population. Par ailleurs, 96,4% de la

population avait accès à l'électricité en 2006 et 95,8% avait accès à l'eau potable. 80% des ménages sont également propriétaires de leur logement. La population urbaine représente 65,8% en 2008.

En 2007, Le taux de mortalité infantile s'élevait à 18,5 pour mille et l'espérance de vie à la naissance est de 74,3 ans en moyenne (72,4 ans pour les hommes et 76,3 et 76,3 ans pour les femmes).

Indicateurs démographiques et sociaux

	1980	1985	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2007
Taux de croissance démographique (%)	2,7	2,4	2,0	1,5	1,14	1,08	1,12	1,15	1,18
Taux de mortalité infantile (‰)	72,4	51,4	37,3	30,0	25,8	20,6	20,3	19,1	18,5
Espérance de vie (ans)	61,9	67,4	70,3	71,4	72,1	73,4	73,5	73,9	74,3
Taux d'analphabétisme (% de la population, +15 ans)	53,5	42,4	34,7	31,5	27,9	22,9	20,6	-	-
Indicateur du développement humain (IDH)	0,574	0,623	0,656	0,696	0,734	0,760	0,766	0,762	0,766

Source : Institut National de la statistique (INS), 2008

4. ZONES INDUSTRIELLES ET PARCS D'ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES

La Tunisie possédait 121 zones industrielles en 2007, réparties sur tout le territoire, totalisant une superficie de 3 807 hectares et équipées des infrastructures et commodités nécessaires. Le XIe plan de développement économique et social (2007-2011) prévoit la réalisation de 35 zones industrielles supplémentaires, couvrant 677 ha, et qui permettra d'atteindre une superficie totale de l'ordre de 4 500 ha en 2011.

Deux parcs d'activités économiques ont également été créés, l'un à Bizerte, dans le nord du pays, qui a comme atout, la proximité des marchés internationaux et des voies maritimes qui transitent entre l'Occident et l'Asie, et l'autre, à Zarzis, dans le sud du pays, à proximité de l'aéroport de Djerba, qui présente quant à lui, une position géostratégique pour le marché des pays arabes et du continent africain.

5. ENVIRONNEMENT ÉCONOMIQUE

Le taux de croissance réel du PIB a atteint 5,2% par an en moyenne entre 1997 et 2001. Il a aussi progressé de 4,2% en 2005 comparé à 6% en 2004. L'inflation, qui avait atteint le seuil de 9% au début des années 1980, a été ramenée sous la barre des 3%, de 1999 à 2003, et à 2% en 2005. Le déficit budgétaire s'est élevé en moyenne à 3% du PIB par an, entre 1997 et 2001, et a été ramené à 2,6% en 2005.

L'économie de la Tunisie est assez diversifiée, comme l'indique la répartition du PIB par secteur d'activité (2007) : 11,7% pour l'agriculture et la pêche, 33,3% pour l'industrie et 55% pour les services, dont 6% environ pour le tourisme. Les investissements représentent près du quart du PIB. Le secteur privé y contribue pour plus de 50%.

Plusieurs programmes de mise à niveau du secteur industriel ont été mis en place, en coopération avec

l'Union Européenne, afin de renforcer la compétitivité des entreprises et de faire face aux défis de la libéralisation des échanges internationaux, à partir de 2008. Le programme de mise à niveau des industries manufacturières, démarré en 1996, a touché 3410 entreprises à la fin de 2005. Le programme de modernisation industrielle avait quant à lui

comme objectif principal de soutenir, sur la période 2005-2008, les efforts de restructuration et de modernisation industrielle, en appui complémentaire au processus de mise à niveau des entreprises.

Données de base de l'économie tunisienne : 2001-2008

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
PIB (prix courants, MDT)	28 741	29 933	30868	33638	35552	39335	42592	46117
Taux de croissance du PIB (prix constants, %)	4,9	1,7	5,6	5,8	4,2	5,3	6,3	6,1
Produit National Brut / habitant (DT)	2 837	2 922	3 301	3 564	3 722	3 996	4389	4703
Taux d'inflation (%)	1,9	2,8	2,7	3,6	2,1	4,2	2,9	3,0
Taux du Marché Monétaire (TMM) (%)	5,875	5,875	5,875	5,000	5,000	5,330	5,250	5,230
Déficit budgétaire (% PIB)	3,5	2,0	3,2	2,8	3,2	3,2	3,0	3,0
Déficit courant (% PIB)	4,2	3,5	2,9	2,0	1,1	2,8	2,2	2,2
Taux d'épargne (% PIB)	23,5	22,1	22,0	22,6	21,4	20,5	22,5	22,8
Taux d'investissement (% PIB)	26,2	25,4	23,4	22,3	22,6	22,2	23,6	23,6
Dettes extérieures (MDT)	15 010	15 033	16 115	17 357	18 073	19 876	20297	20639
Service dette extérieure (% recettes courantes)	13,3	14,9	13,1	14,1	12,6	16,6	11,9	9,9

Source : Institut National de la Statistique (INS), 2008

intégration dans l'espace euro-méditerranéen

La Tunisie est au cœur de la Méditerranée et aux portes de l'Europe. Elle est membre de l'Union du Maghreb Arabe (UMA), association créée en février 1989, qui réunit la Mauritanie, le Maroc, l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La vocation première de l'UMA est de développer les échanges commerciaux intra-maghrébins en jouant sur les complémentarités que

recèlent les différents secteurs économiques.

En 1998, des accords bilatéraux pour la création d'une zone de libre échange avec l'Égypte, le Maroc, la Jordanie et la Libye ont été signés. La Tunisie participe également à la mise en place de l'accord régional pour la création d'une zone de libre échange arabe sur une période de dix ans avec les pays membres de la Ligue Arabe.

La Tunisie entretient également des relations étroites avec l'Europe. La part de l'Union Européenne (UE) dans la structure des échanges de la Tunisie avec

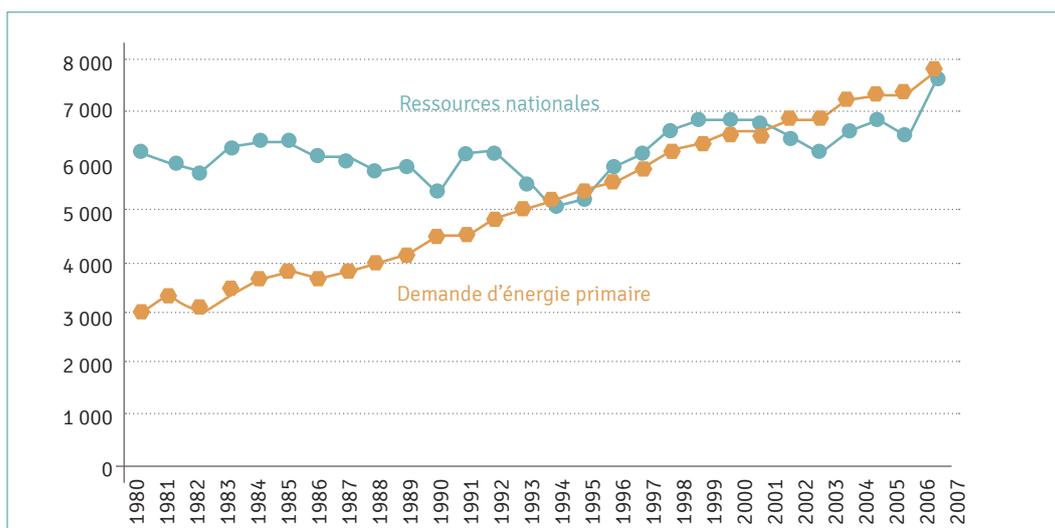
l'étranger a largement augmenté aux dépens d'autres régions, notamment de l'UMA (encore en phase de démarrage) et des pays asiatiques. La Tunisie réalise, en effet, près de 83% de ses exportations et 70% de ses importations avec les pays de l'Union Européenne. Ses quatre premiers partenaires sont la France, l'Italie, l'Allemagne, et la Belgique. A eux seuls, ces quatre pays représentent environ 71% des exportations et 55% des importations. En plus de ces relations commerciales privilégiées, l'Europe est omniprésente en matière d'IDE et de tourisme. 90% des entreprises étrangères opérant en Tunisie sont européennes, et plus de 80% des recettes touristiques en proviennent. La Tunisie est donc économiquement très liée à l'Europe. Ces relations d'affaires devront prendre une nouvelle dimension avec la conclusion d'accords intergouvernementaux. La Tunisie est le premier pays de la rive sud de la Méditerranée à avoir signé un accord d'association et de libre-échange avec l'Union Européenne. Cet accord, en vigueur depuis 1995, consiste en la mise en place d'un programme de

démantèlement tarifaire avec l'Union Européenne, en vue d'instaurer une zone de libre-échange à partir de 2008. Il fait donc de la Tunisie un partenaire «associé» de l'Union Européenne.

6. CONTEXTE ENERGETIQUE

A partir de 1992, la balance énergétique de la Tunisie a accusé une forte baisse et est devenue déficitaire à partir de l'année 2001. La baisse progressive des ressources énergétiques, couplée à une conjoncture économique mondiale difficile ont incité les responsables politiques à mettre en place une politique de maîtrise de l'énergie.

**Evolution des ressources énergétiques et de la demande nationale en énergie primaire
(en 1000 tep : ktep)**



Source : Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie (ANME)

7. TYPOLOGIE DE L'INDUSTRIE TUNISIENNE

La Tunisie compte environ 12 000 entreprises, dont 5 702 emploient au minimum 10 salariés. 2 670 sont totalement exportatrices (statistiques API, 2008).

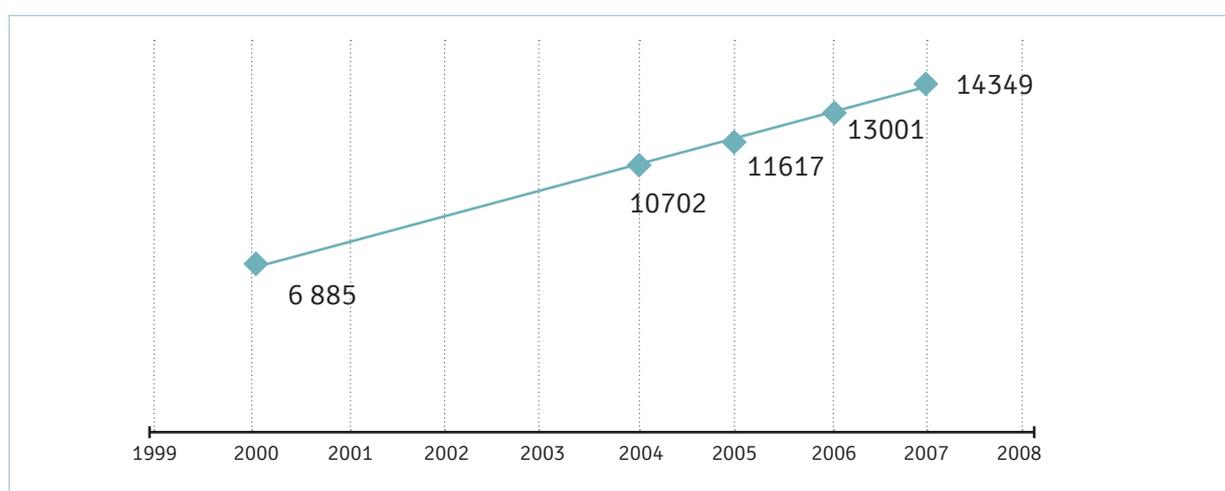
Le nombre d'entreprises à participation étrangère est de 1 744 dont plus de la moitié sont à capitaux 100% étrangers. 1 433 entreprises, soit 82% des entreprises en partenariat, sont totalement exportatrices.

Entreprises employant 10 personnes ou plus par régime et par sous-secteur de l'industrie

Sous-secteurs	TE	ATE	Total	%
Agro-alimentaire	156	857	1 013	18
Matériaux de Construction, Céramique et Verre	24	400	424	7
Mécanique et métallurgie	135	411	546	10
Electrique, électronique et électroménager	221	130	351	6
Chimie (hors plastique)	101	390	491	9
Textile et habillement	1 731	355	2 086	37
Bois, liège et ameublement	29	161	190	3
Cuir et chaussures	209	93	302	5
Divers (papier, impression et autres)	64	235	299	5
Total	2 670	3 032	5 702	100

TE : totalement exportatrices ; ATE : autres que totalement exportatrices.
(Source : Agence pour la Promotion de l'Industrie (API), juin 2008)

Croissance des exportations d'industries manufacturières (en MDT) entre 2000 et 2007



(Source : Agence pour la Promotion de l'Industrie (API), juin 2008)

8. L'AGRICULTURE EN TUNISIE

Le secteur agricole continue à être un des piliers de l'économie de par sa contribution significative

au développement. En effet, en 2000 (année de référence), il représentait 13,3% du PIB (à prix constants de 1990) et contribuait pour 14,5% aux exportations de biens. L'agriculture emploie environ 19,6% de la population active.

Valeur ajoutée de l'agriculture et de la pêche et contribution au PIB (1989-2007) en millions de Dinars tunisiens (MDT).

Années	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Valeur Ajoutée (agriculture + pêche) :	1243,0	1587,0	1820,0	1918,4	1814,5	1636,2	1479,0	2031,0	2107,0	2074,0
Agriculture	1113,5	1439,2	1710,0	1797,8	1697,6	1524,2	1373,5	1919,7	1981,5	1950,7
Pêche	129,5	142,8	110,0	120,6	116,9	112,0	105,5	111,3	125,5	123,3
PIB (à prix constants) :	10019,1	10797,6	11237,8	12115,1	12380,6	12788,7	13074,3	14008,6	14770,7	15477,4
Contribution de l'agriculture au PIB (%) *	12,41	14,70	16,20	15,83	14,66	12,79	11,31	14,50	14,26	13,40
Contribution de l'agriculture au PIB (%) **		14,70	16,01	15,18	13,78	11,77	10,25	12,41	12,34	11,68
Part de l'agriculture dans l'exportation des biens %	20,69	19,29	22,53	16,81	16,99	19,04	16,33	14,30	16,99	15,63
Investissements globaux	2000	2525	2892	3426	3692	3928,7	4000,7	4743	5136,4	5650
Contribution de l'agriculture dans les investissements %	15,97	13,81	13,1	11,8	13,25	13,13	14,91	15,13	14,33	14,59
Population occupée % ***						21,9				

(*) à prix constants : base 1990. ; (**) : à prix courants : base 1990 ; (***) : agriculture, pêche et forêts

(Sources : Ministère de l'Agriculture et Institut National de la Statistique (INS))



02

Inventaire des gaz à effet
de serre en Tunisie pour l'année 2000

1. INTRODUCTION

L'Inventaire des gaz à effet de serre pour l'année 2000 a été élaboré en collaboration avec les organismes et institutions concernés, qui ont notamment fourni les informations nécessaires et contribué à la réalisation de cette activité. Les travaux se sont appuyés sur les données de la Communication Nationale Initiale (CNI), les données de la Banque Centrale de Tunisie (BCT), celles du Ministère de Développement et de la Coopération Internationale (MDCI) notamment les informations relatives aux 8ème, 9ème et 10ème plans de développement économique et social, les résultats de l'inventaire de GES dans le secteur de l'Énergie pour l'année 2000, les statistiques de l'Institut National de la Statistique (INS) sur la période 2000-2008, celles de l'Office National de l'Agriculture sur la période 1989-2008, celles de l'office National de l'Assainissement (ONAS), de la Direction Générale des Forêts (DGF), de l'Office de l'Élevage, etc.

Les tables de calcul de l'inventaire de GES, par secteur d'activité et selon la nature des émissions des GES produites, ont été élaborées conformément aux recommandations méthodologiques de l'IPCC de 1996 (modifiées en 2006) qui préconisent de procéder à l'analyse statistique et à une synthèse en deux étapes

successives. En effet, il s'agit de produire les résultats agrégés de l'inventaire des GES, selon la nature des gaz considérés, puis de les présenter en fonction des quantités produites et sur la base de leur intensité carbone, par source d'émission et par secteur.

2. SYNTHÈSE DE L'INVENTAIRE DE GES EN TUNISIE POUR L'AN 2000

2.1 Inventaire national global des GES

Les quantités totales nettes d'émissions anthropiques de GES en Tunisie, pour l'année 2000, se sont élevées à 32,1 millions de tonnes équivalent CO₂ (32,1 MTE-CO₂), soit 3,4 tonnes équivalent CO₂ (3,4 TE-CO₂) par habitant.

Les émissions brutes s'élèvent quant à elles, à 37,8 MTE-CO₂ en 2000, soit 3,92 TE-CO₂ par habitant. La différence entre les quantités brutes et nettes correspond à l'absorption du CO₂ sous forme organique par la biomasse. Elle est estimée à 5,7 MTE-CO₂.

L'inventaire national des émissions de GES, pour l'année 2000 en Tunisie, se présente, par secteur et par gaz, comme suit :

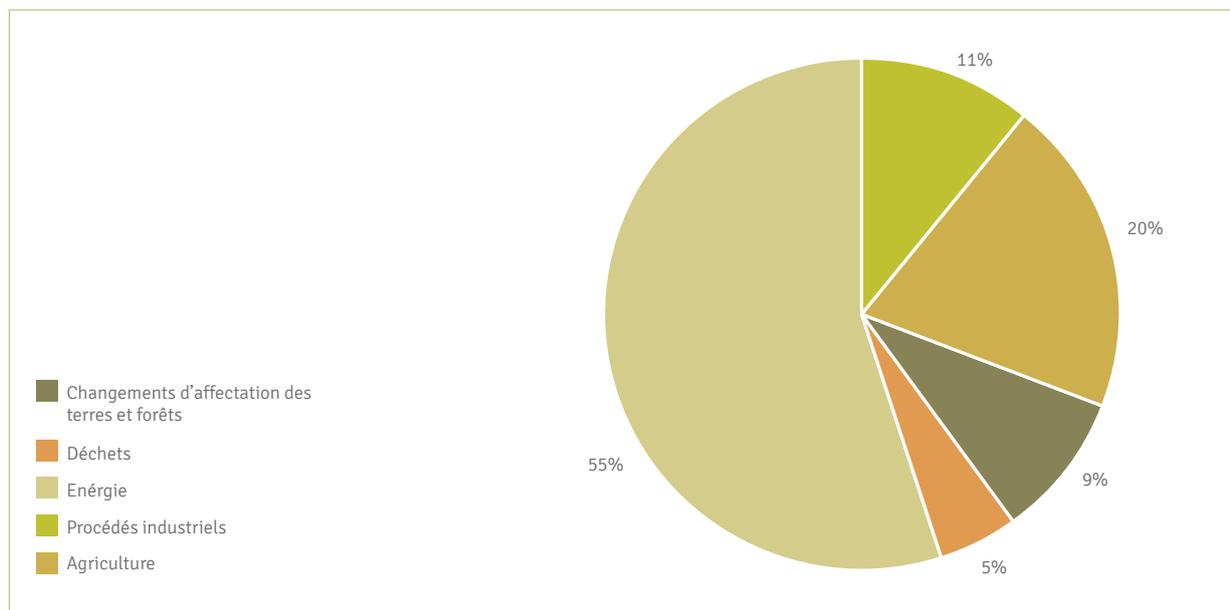
Emissions / absorption totales de GES en Tunisie en l'an 2000 (Unité Gg = 1000 tonnes)

	Emissions de CO ₂	Absorptions de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVNM*	SO ₂
Total national Emissions/ Absorptions (Gg)	26 207,2	- 5 685,0	277,73	18,6	96,1	414,2	109,7	111,3
1. Energie	19 048,0	-	73,6	0,6	95,7	405,9	71,7	64,0
2. Procédés industriels	3 616,2	-	-	1,1	0,2	0,95	9,1	47,3
3. Solvants	-	-	-	-	-	-	29,0	-
4. Agriculture	-	-	126,0	16,1	0,3	7,5	-	-
5. Changements d'affectation des terres et forêts (CATF)	3 543,0	- 5 685,0	-	-	-	-	-	-
6. Déchets	-	-	78,12	0,78	-	-	-	-
Soutes internationales	893,0		0,01	0,02	4,9	1,3	-	1,8

(*) COVNM : Composés organiques volatils non méthaniques

**Composition des émissions brutes de GES (CO₂, CH₄ et N₂O) et absorptions de CO₂ en 2000
(Unité : Gg équivalent CO₂ = 1000 TE-CO₂)**

	Emission de CO ₂	Absorption de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total	%
Total National Emissions/ Absorptions (Gg équivalent CO₂)	26 207,2	- 5 685,0	5 832,7	5 758,9	37 798,8	100
1. Energie	19 048,0		1 545,6	187,55	20 781,2	55,0
2. Procédés industriels	3 616,2		-	338,5	3 954,7	10,5
3. Solvants	-		-	-		
4. Agriculture	-		2 646,6	4 991,0	7 637,6	20,2
5. Changements d'affectation des terres et forêts (CATF)	3 543,0	- 5 685,0	-	-	3 543,0	9,3
6. Déchets			1 640,5	241,8	1 882,3	5,0
Soutes internationales	893,0		0,23	7,8	901,1	

Répartition des émissions brutes de GES par source

**Synthèse des émissions nettes de GES (CO₂, CH₄ et N₂O) et en 2000
(Unité : Gg équivalent CO₂ = 1000 TE-CO₂)**

	Emissions nettes de CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total émissions nettes
Total National Emissions/ Absorptions (Gg équivalent CO₂)	26 207,2	5 832,7	5 758,9	32 113,8
1. Énergie	19 048,0	1 545,6	187,55	20 781,2
2. Procédés industriels	3 616,2	-	338,5	3 954,7
3. Solvants	-	-	-	-
4. Agriculture	-	2 646,6	4 991,0	7 637,6
5. Changements d'affectation des terres et forêts (CATF)	- 2 142,0	-	-	- 2 142,0
6. Déchets	-	1 640,5	241,8	1 882,3
Soutes internationales	893,0	0,23	7,8	901,0

2.2 Evaluation quantitative par type de gaz

Le guide des bonnes pratiques et la méthodologie de l'inventaire de GES de l'IPCC (IPCC, 1996 ; révision 2006) ont retenu six principaux gaz : CO₂, CH₄, N₂O, COVMN, CO et SO₂. Les données relatives à ces gaz sont exprimées en TE-CO₂, permettant ainsi de les comparer et de mesurer leur importance relative.

Une autre façon d'analyser les effets à moyen et long termes des GES est de les comparer sur la base de leur Pouvoir de Réchauffement Global (PRG) qui est proportionnel au temps de résidence de chaque gaz dans l'atmosphère et à sa capacité d'absorber les radiations. Le PRG est le pouvoir radiatif de ces gaz, sur une période de 100 ans, par référence au CO₂, dont le PRG est par convention égal à un.

PRG des principaux GES pour une durée d'intégration de 100 ans

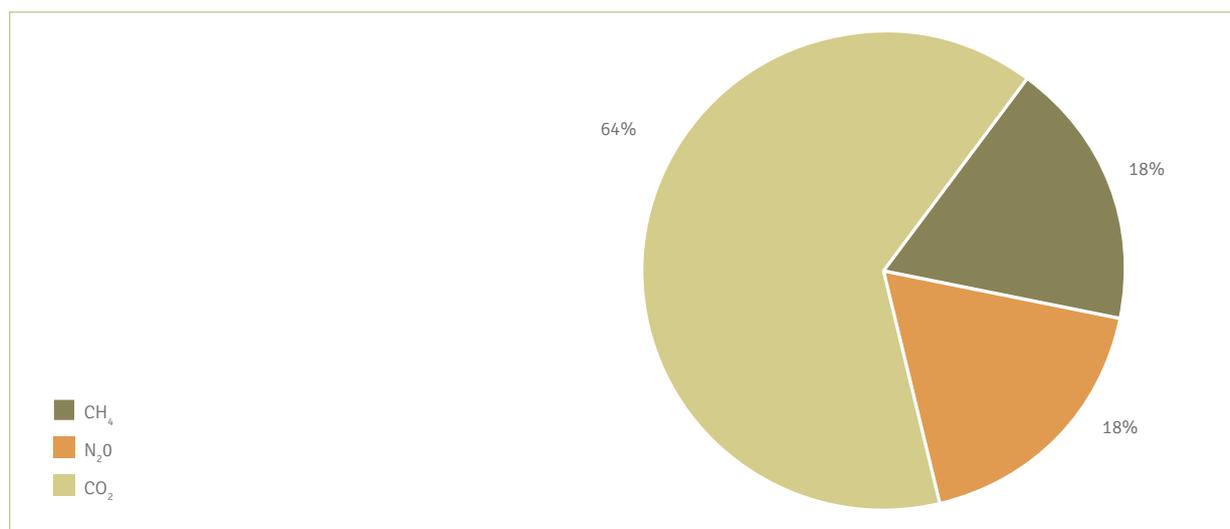
	PRG	Signification
CO₂	1	Gaz de référence
CH₄	21	1 tonne de CH ₄ a un effet équivalent à celui de 21 tonnes de CO ₂
N₂O	310	Une tonne de N ₂ O a un effet équivalent à celui de 310 tonnes de CO ₂

Emissions des principaux GES en l'an 2000 en Tunisie

	Emissions brutes de GES en 1000 tonnes	Absorption de CO ₂ en 1000 tonnes	Emissions nettes de GES en 1000 tonnes	Emissions nettes de GES (x1000 TE-CO ₂)	%
CO ₂	26 207,18	- 5 685	20 522,18	20 522	63,9
CH ₄	277,73		277,73	5 832	18,2
N ₂ O	18,58		18,58	5 760	17,9
TOTAL				32 114	100,0

Il ressort ainsi que le gaz le plus émis en Tunisie est le CO₂, avec une quantité nette de 20,5 millions de tonnes, soit 63,9% du total des émissions de GES. Il est suivi à parts pratiquement égales par le CH₄ (18,2%) et le N₂O (17,9%). Si l'on reprend les données de l'inventaire de 1994, le CO₂ représentait 66%, le N₂O, 18% et le CH₄, 16%. Ainsi, le CH₄ a légèrement augmenté, passant en seconde position après le CO₂.

Répartition des émissions de GES par type de gaz



Emissions des trois principaux gaz dus aux soutes internationales (2000)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Soutes Internationales (x1000 tonnes)	893	0,011	0,025	-
Emissions nettes (x1000 TE-CO₂)	893	0,23	7,75	900,98
Répartition (%)	99,1	0,03	0,86	100

En ce qui concerne les soutes internationales qui incluent le transport aérien et la navigation maritime, les émissions nettes totales sont estimées à 0,9 MTE-CO₂, mais selon la méthodologie de l'IPCC, elles ne sont pas comptabilisées dans les émissions produites par la Tunisie. De même, les émissions de CO₂ sont de loin les plus importantes, avec une part de 99,1% du total des émissions.

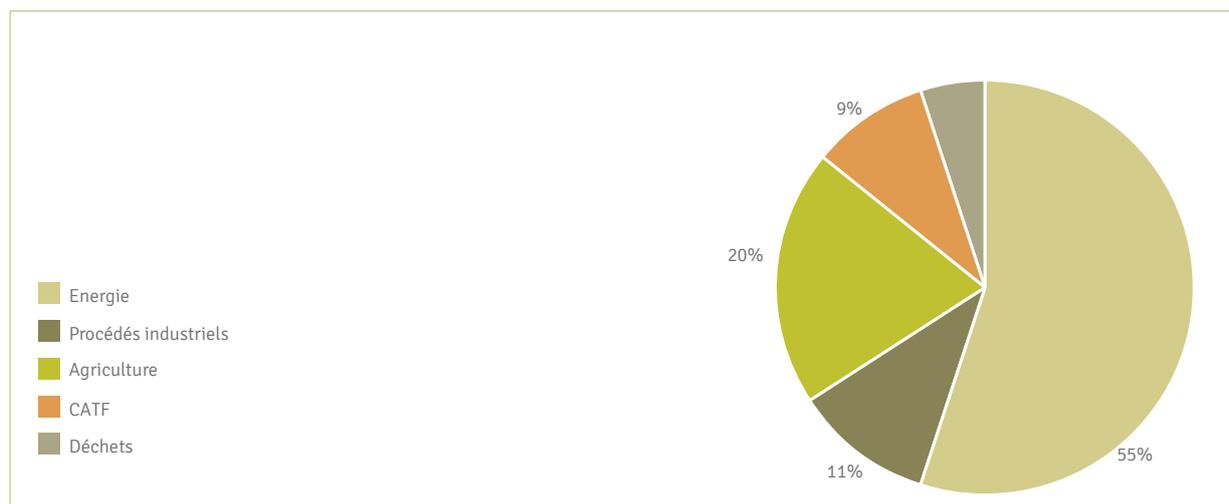
2.3 Analyses par source de GES

La méthodologie préconisée par l'IPCC identifie six sources distinctes pour les émissions anthropiques de GES qui sont : l'énergie, les procédés industriels, les solvants, l'agriculture, les changements d'affectation des terres et forêts (CATF) et les déchets. Les émissions agrégées de GES par source d'émission pour l'année 2000 sont données dans le tableau suivant :

Emissions agrégées de GES par source d'émission

	Emissions brutes (1000 TE-CO ₂)	%	Emissions nettes (1000 TE-CO ₂)
Energie	20 781,2	55	20 781,2
Procédés industriels	3 954,5	11	3 954,5
Solvants	-	-	-
Agriculture	7 637,6	20	7 637,6
CATF	3 543	9	-2 142
Déchets	1 882,3	5	1 882,3
TOTAL	37 798,6	100	32 113,8

Répartition des émissions brutes de GES par source



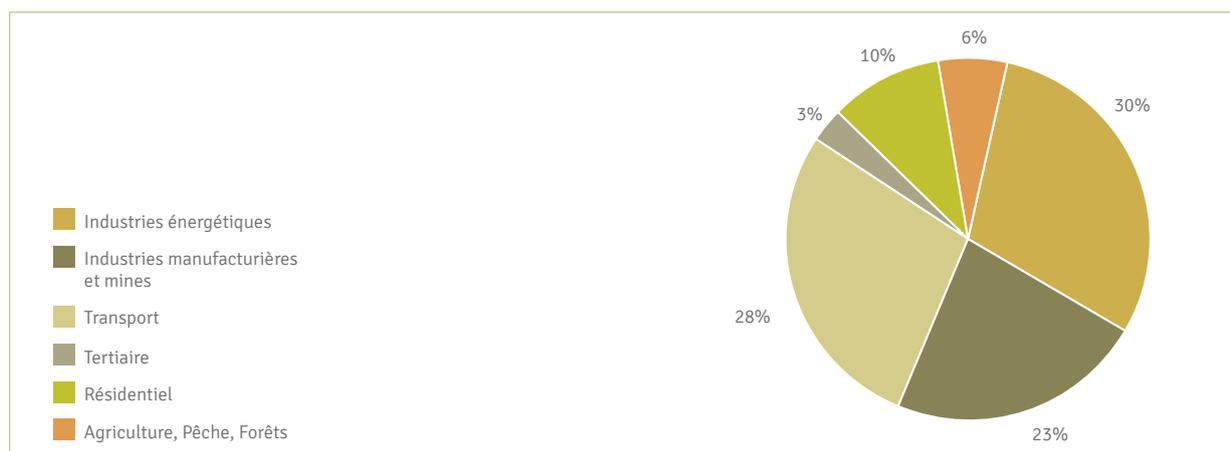
Ainsi, les utilisations énergétiques sont de loin celles qui émettent le plus de GES, avec 20,78 MTE-CO₂, soit 55 % du total des émissions brutes en 2000. De plus, ces émissions sont en augmentation de 5,53 MTE-CO₂ par rapport à l'année 1994, ce qui représente une croissance moyenne annuelle de 5,2%.

C'est la combustion énergétique qui est la première source d'émission au sein du secteur de l'énergie, avec 90%. Les émissions fugitives représentent 10% du total. La part des émissions fugitives est en légère augmentation par rapport à celle de 1994 en raison d'une utilisation accrue du gaz naturel comme combustible notamment pour la production d'électricité.

Emissions agrégées de GES dues aux utilisations énergétiques en Tunisie en 2000

	1000 x TE-CO ₂	(%)
TOTAL COMBUSTION	18 715,9	90,1
Industries énergétiques	5 642,6	27,2
Industries manufacturières, mines et construction	4 256,5	20,5
Transport	5 158,7	24,8
Tertiaire	556,8	2,7
Résidentiel	1 956,2	9,4
Agriculture, pêches et forêts	1 145,1	5,5
TOTAL EMISSIONS FUGITIVES	2 065,5	9,9
TOTAL ENERGIE	20 781,4	100,0

Répartition des émissions de GES dues aux utilisations énergétiques en 2000 (%)

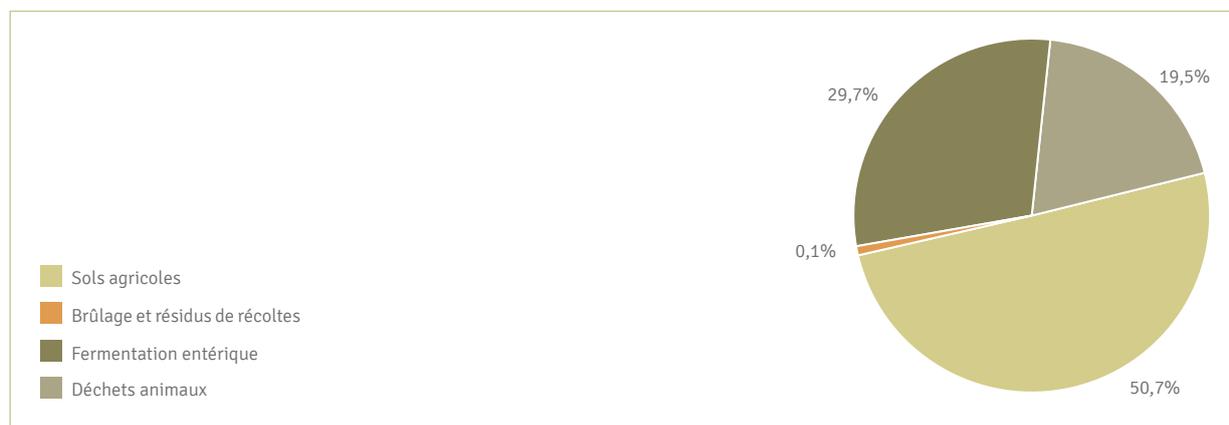


Le secteur agricole est la seconde source d'émissions de GES, avec un total de 7,64 MTE-CO₂, soit 20% du total des émissions brutes de GES en Tunisie. Ces émissions proviennent essentiellement du N₂O dont la part est estimée à 65%, et du CH₄. Le N₂O est la conséquence d'une utilisation importante de fertilisants minéraux et organiques pour les sols alors que le CH₄ est produit par la fermentation entérique et la gestion des déchets d'animaux domestiques, en particulier, les bovins et les ovins.

Emissions agrégées de GES dues à l'agriculture en 2000

	1000 x TE-CO ₂	%
Fermentation entérique	2 270,6	29,7
Gestion des déchets animaux	1 487,6	19,5
Sols agricoles	3 868,8	50,7
Brûlage et résidus de récolte	10,66	0,1
Total Agriculture	7 637,6	100,0

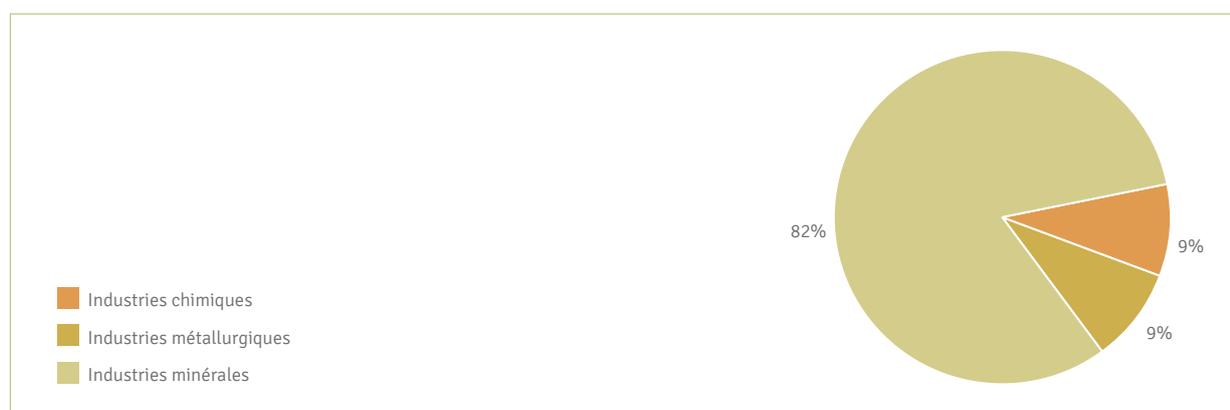
Répartition des émissions de GES dues à l'agriculture en 2000



Les procédés industriels produisent environ 11% des émissions brutes de GES en Tunisie, soit 3,95 MTE-CO₂. Ils constituent la troisième source. C'est l'industrie minérale et plus particulièrement celle de la production de ciments, qui émet le plus de GES avec 82% des émissions du secteur. Loin derrière arrivent les industries métallurgiques et les industries chimiques avec des parts respectives de 9% et 8,6%.

Emissions agrégées de GES dues aux procédés industriels

	X 1000 TE-CO ₂	%
Industries minérales	3 253,06	82,3
Industries chimiques	338,3	8,6
Industries métallurgiques	363,12	9,1
Total procédés industriels	3 955	100

Répartition des émissions de GES dues aux procédés industriels

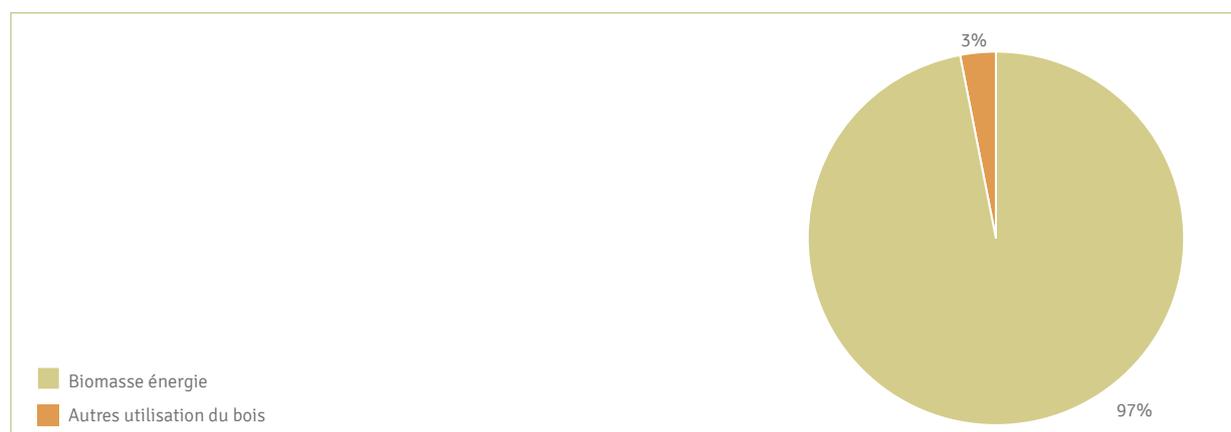
Les changements d'affectation des terres et forêts (CATF) constituent la quatrième source d'émission de GES, avec une part de 9 % dans le bilan global des émissions brutes en 2000 et une quantité de 3,54 MTE-CO₂. Ces émissions sont essentiellement du CO₂ résultant de l'utilisation énergétique de la biomasse par les ménages (qui représente 97 % du total des gaz provenant de cette source). Il est à signaler que les émissions de GES dues aux utilisations énergétiques de la biomasse sont imputées, dans l'inventaire, au secteur de l'énergie, conformément à la méthodologie suivie.

En comparant les émissions de CO₂ issues des forêts et les quantités de carbone absorbées par la biomasse végétale, le bilan indique un solde de -2,14 MTE-CO₂, qui traduit ainsi une absorption de CO₂ par les forêts nettement supérieure aux émissions produites par cette même source.

Emissions agrégées de GES dues aux CATF en 2000

	x 1000 TE-CO ₂ brutes	%	x 1000 TE-CO ₂ nettes
Biomasse – énergie	3 438	97,03	3 438
Autres utilisations du bois	105	2,97	105
Formations forestières + maquis et garrigues			-898
Plantations d'oliviers			-4 330
Plantations arboricoles			-365
Plantations urbaines (arbres en ville)			-92
Total CATF	3 542,99	100	-2 142

Répartition en % des émissions de GES dues aux changements d'affectation des terres et forêts (CATF)

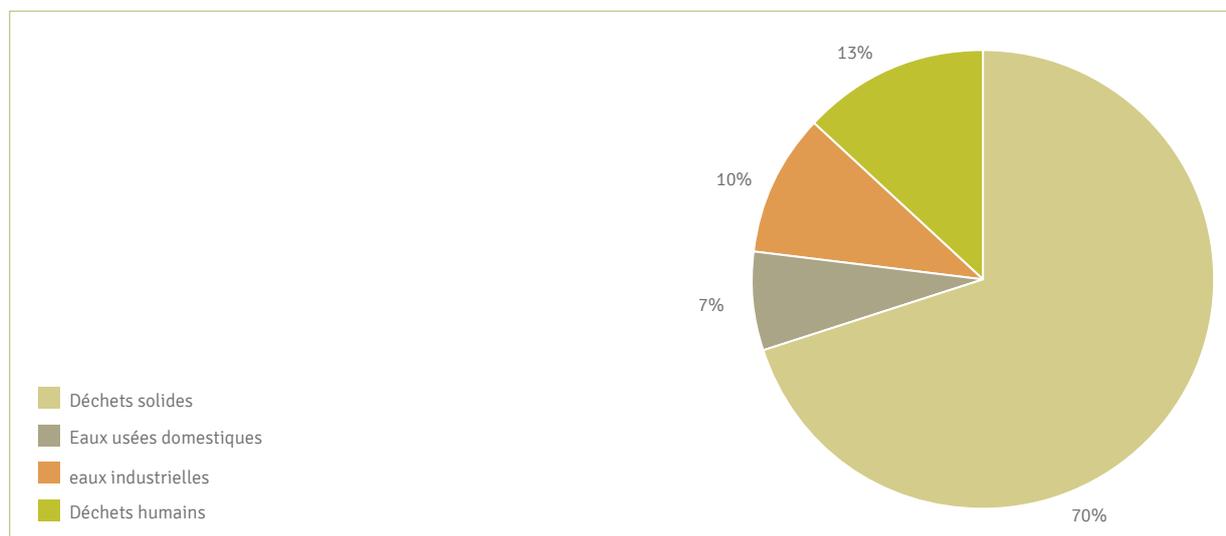


La digestion anaérobie des déchets produit 1,88 MTE-CO₂, correspondant à 5% du total des émissions brutes en Tunisie. Les émissions émanant du secteur des déchets sont essentiellement du CH₄ qui représente 87,2 %, et du N₂O.

La part des déchets solides municipaux (70%) est plus importante que celles des déchets liquides (eaux usées domestiques et industrielles) et des déchets humains, qui ne contribuent qu'à raison respectivement de 10,2% et 12,8%, de la quantité totale de GES produits par cette source.

Emissions agrégées de GES dues aux déchets en 2000

	X 1000 TE-CO ₂ brutes	%
Déchets solides	1 318,8	70
Déchets liquides domestiques	130,62	7
Déchets liquides industriels	191,1	10,2
Déchets humains	241,8	12,8
Total déchets	1 882,32	100

Répartition des émissions de GES dues aux déchets (%)


Le secteur des solvants n'est que faiblement émetteur et ses émissions sont regroupés sous la rubrique COVNM, incluant les CFC et les HFC.

3. Résultats agrégés par gaz

Les émissions brutes calculées pour les gaz (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, COVNM et SO₂) sont données dans le tableau ci-après. On constate une prédominance des émissions de CO₂, avec 26,21 millions de tonnes.

Emissions brutes de GES en Tunisie en 2000

	en 1000 tonnes
CO ₂ *	26 207,18
CH ₄	277,73
N ₂ O	18,58
NO _x	96,13
CO	414,7
COVNM	109,14
SO ₂	111,29

* Emissions brutes de CO₂

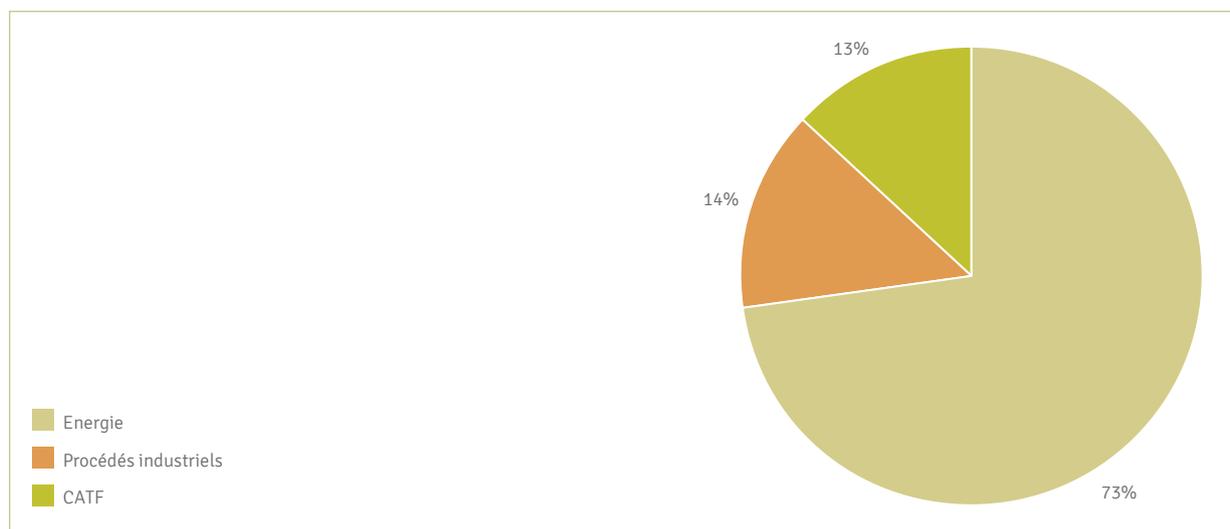
3.1 Emissions de CO₂

Avec un total net de 20,5 millions de tonnes, le CO₂ demeure le principal GES émis en Tunisie. Il est en augmentation globale de l'ordre du 1/3 par rapport à la quantité estimée dans l'inventaire de 1994. Cette

augmentation est notamment significative pour les secteurs de l'énergie, des procédés industriels, de l'agriculture et des changements d'affectation des terres et forêts. Le tableau suivant donne le bilan de l'émission/absorption du CO₂ par secteur :

Emissions de CO₂ par source en 2000 (en 1000 tonnes)

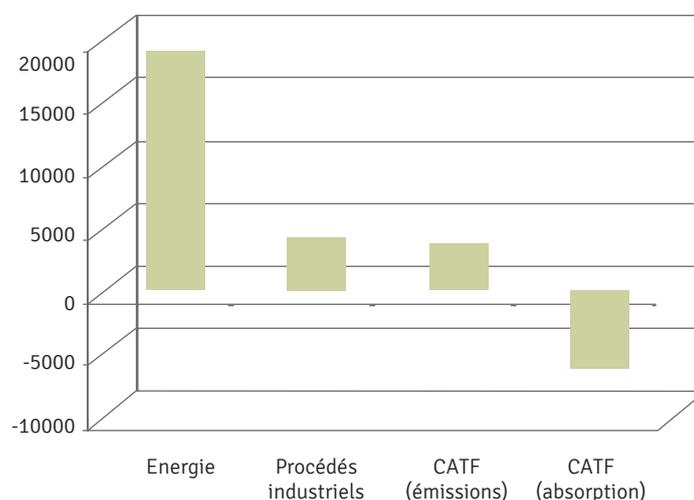
Secteur	Emissions brutes	%	Emissions nettes
Energie	19 048	73	19 048
Procédés industriels	3 616,185	14	3 616,185
Solvants	-	-	-
Agriculture	-	-	-
CATF	3 542,99	13	- 2 142
Déchets	-	-	-
Total CO₂	26 207,175	100	20 522,2

Répartition des émissions de CO₂ par source en 2000

Le secteur de l'énergie contribue pour 73% des émissions brutes de CO₂. Les procédés industriels suivent avec 14 %, devançant de peu le secteur relevant des changements d'affectation des terres et forêts (CATF) qui représente lui 13%. En comparaison avec le bilan de 1994, on note que les émissions de CO₂ issues des procédés industriels sont supérieures à celles provenant des CATF. Ceci s'explique par la forte augmentation des émissions de CO₂ dues à l'industrie du ciment.

La capacité d'absorption du carbone par les écosystèmes végétaux, élément important de l'équilibre écologique, a été estimée à 5,68 millions de tonnes de CO₂.

Contribution des différentes sources au bilan du CO₂ en Tunisie en 2000



3.2 Emissions de CH₄

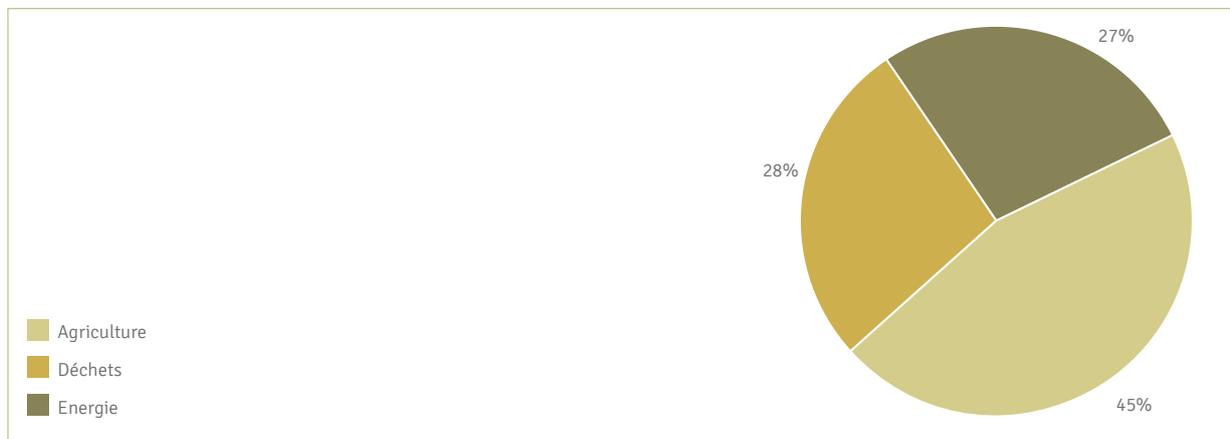
Avec une quantité estimée d'émissions de 277 730 tonnes, le CH₄ se situe en troisième position en termes d'importance, après le CO₂ et le CO.

C'est l'agriculture, par la fermentation entérique et les activités de gestion des déchets de bétail, qui

constitue la principale source d'émission de méthane, soit pratiquement la moitié des émissions totales de ce gaz (45 %). Les déchets constituent la seconde source d'émission de méthane dans l'atmosphère, avec 28%, devant de peu les émissions fugitives du secteur de l'énergie qui constituent la troisième source de CH₄ (27 %).

Emissions de CH₄ par source en 2000

	X 1000 tonnes	%
Energie	73,6	26,5
Procédés industriels	-	
Solvants	-	
Agriculture	126,0	45,4
CATF	-	
Déchets	78,1	28,1
Total CH₄	277,8	100,0
Soutes internationales	0,011	

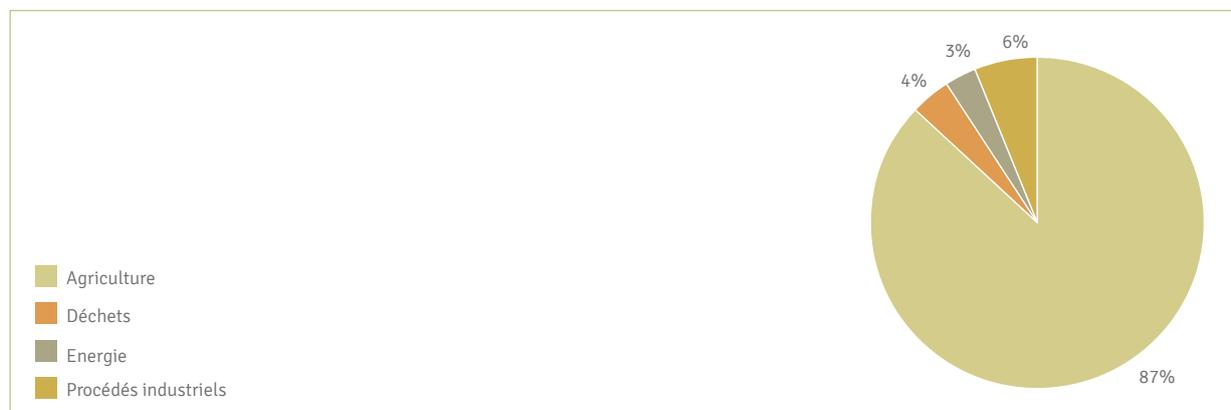
Répartition des émissions de CH₄ par source en 20003.3 Emissions N₂O

Les émissions de N₂O s'élèvent en 2000 à 18 600 tonnes, principalement issues du secteur de l'agriculture en raison de l'utilisation d'engrais, et des déchets d'animaux domestiques (86,7%). Les procédés industriels contribuent pour 5,9% avec la production d'acide nitrique. Cependant, mêmes si les quantités en volume de N₂O paraissent peu élevées, il n'en demeure pas moins que les émissions correspondantes sont importantes en raison du pouvoir radiatif élevé de ce gaz (310).

Emissions de N₂O par source en 2000

	X 1000 tonnes	%
Energie	0,605	3,2
Procédés industriels	1,091	5,9
Solvants	-	-
Agriculture	16,10	86,7
CATF	-	-
Déchets	0,78	4,2
Total N₂O	18,58	100,0
Soutes internationales	0,025	-

Emissions de N₂O par secteur en 2000

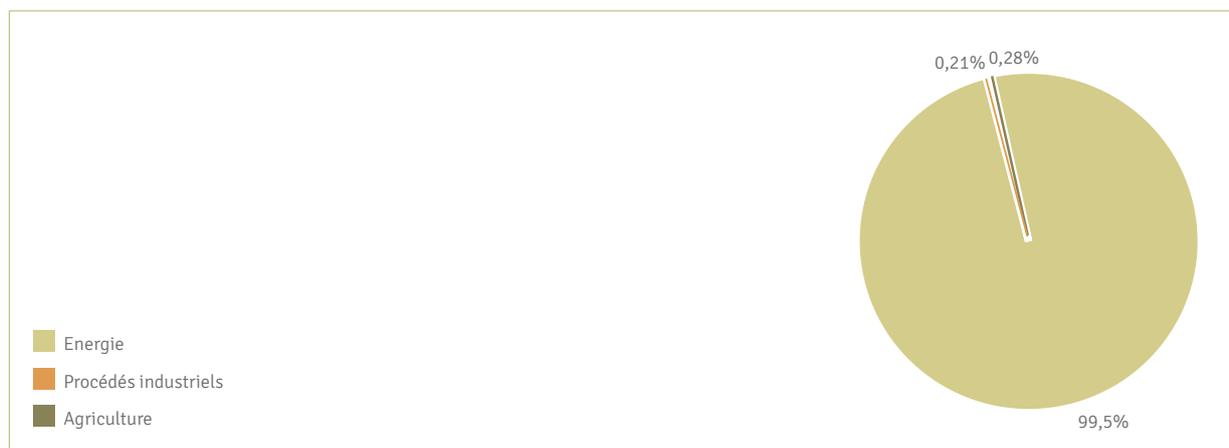


3.4 Emissions NO_x

Les émissions brutes des composés azotés de type NO_x ont été évaluées à 96 130 tonnes pour l'année 2000. Il s'agit d'émissions nocives, concentrées principalement dans les zones urbaines et dues au trafic routier. La combustion énergétique produit 99,5 % de l'ensemble de ces émissions, dont 51,3% proviennent du seul secteur du transport.

Emissions de NO_x par source en 2000

	X 1000 tonnes	%
Energie	95,7	99,5
Procédés industriels	0,203	0,21
Solvants	-	
Agriculture	0,27	0,28
CATF	-	
Déchets	-	
Total NO_x	96,13	100

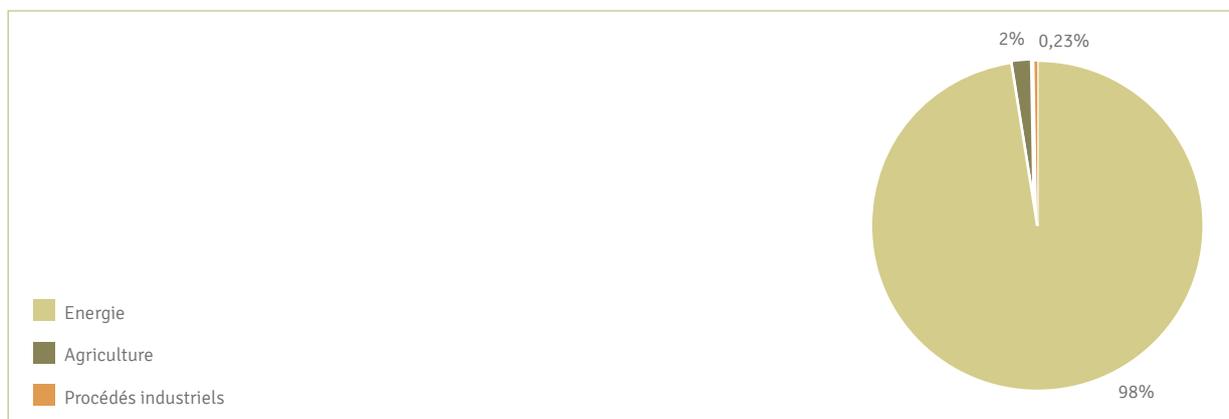
Répartition des émissions de NOx par source

3.5 Emissions de CO

Avec un total de 414 180 tonnes, les émissions de CO sont en nette augmentation par rapport au bilan de ce gaz en 1994 (370 000 tonnes). C'est la combustion de l'énergie qui produit le plus de CO (98%). Elle provient de la combustion des carburants des moyens de transport, notamment en milieu urbain, et de celle de la biomasse-énergie par les ménages. En revanche, les contributions de l'agriculture (1,8%) dans le cadre du brûlage des résidus de récolte et celle des procédés industriels (0,2%) notamment par le grillage du coke dans la métallurgie, ne sont que minimes.

Emissions de CO par source en 2000

	X 1000 tonnes	%
Energie	405,77	97,97
Procédés industriels	0,949	0,23
Solvants	-	-
Agriculture	7,46	1,8
CATF	-	-
Déchets	-	-
Total CO	414,18	100

Répartition des émissions de CO par source



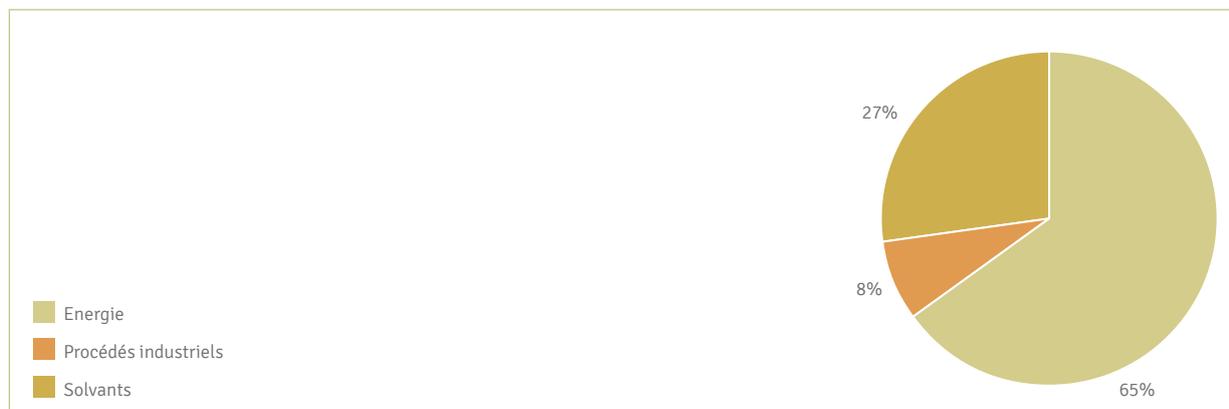
3.6 Emissions de COVNM

Les émissions de COVNM ont été estimées à 109 740 tonnes en l'an 2000. Les quantités consommées en solvants sont élevées, et la production croissante de viandes, de bières et de vins, mais aussi des produits de l'industrie agro-alimentaire, contribuent à la production de ces gaz.

La principale source en est l'énergie qui représente 65,3%, suivie par le secteur des solvants (26,4%) et celui des procédés industriels (8,3%).

Emissions de COVNM par source en 2000 (en 1000 tonnes)

	X 1000 tonnes	%
Energie	71,65	65,3
Procédés industriels	9,09	8,3
Solvants	28,993	26,4
Agriculture	-	
CATF	-	
Déchets	-	
Total COVNM	109,73	100

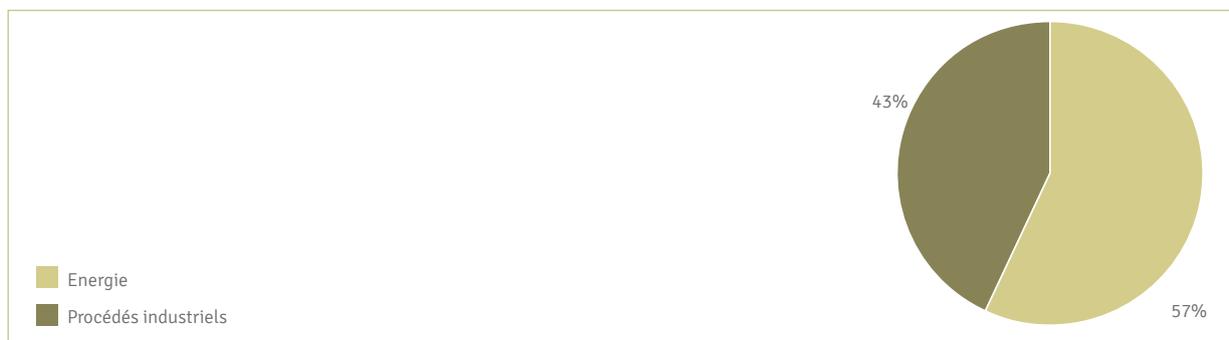
Emissions de COVM par source en 2000**3.7 Emissions de SO₂**

Les émissions d'anhydride sulfurique (SO₂) en 2000 ont atteint 111 290 tonnes. Elles sont dues principalement aux secteurs de l'énergie (57,46 %) et des procédés industriels (42,5 %). Les émissions de SO₂ dues à la fabrication de l'acide sulfurique, publiées dans l'inventaire national de 1994, ont été révisées à la hausse. La combustion de fuels (notamment des fuels lourds pour la production d'électricité et pour les industries manufacturières), constitue la source majeure d'émissions de ce gaz, suivie par la production d'acide sulfurique dans le secteur industriel.

Emissions de SO₂ par source en 2000

	X 1000 tonnes	%
Energie	63,95	57,5
Procédés industriels	47,34	42,5
Solvants		
Agriculture	-	
CATF	-	
Déchets	-	
Total SO₂	111,29	100

Emissions de SO₂ par source en 2000



4. Résultats agrégés par source

4.1 Energie (secteur 1)

4.1.1 Aperçu

Le secteur de l'énergie est la première source d'émissions de GES, contribuant à hauteur de 55% (20,78 MTE-CO₂) des émissions totales brutes de la Tunisie. Il s'agit d'émissions de CO₂, de CH₄ et N₂O, résultant de l'utilisation de combustibles par des sources fixes et les transports, mais aussi des émissions fugitives de l'industrie. Ces dernières englobent les rejets délibérés ou accidentels de GES, lors d'activités de production, de transformation, de transport et d'entreposage de combustibles, mais également les émissions dues au torchage dans le domaine de l'industrie pétrolière.

Synthèse des émissions de GES dues à l'énergie en Tunisie en 2000 (en 1000 tonnes ou Gg)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVNM	SO ₂
Combustion	18 193	15,99	0,605	95,66	405,77	60,75	63,55
Emissions fugitives	855	57,62	-	0,039	0,084	10,90	0,40
TOTAL émissions nationales	19 048	73,6	0,605	95,7	405,85	71,65	63,95
Soutes Internationales(*)	893	0,011	0,025	4,917	1,318		1,774
Emissions de CO₂ dues à la biomasse-énergie (**)	3 543	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)

(*) Emissions dues aux combustibles utilisés par la navigation aérienne ou maritime dans le cadre du transport international. Selon la méthodologie de l'IPCC (1996, révisée en 2006), ces émissions ne doivent pas être comptabilisées dans le total des émissions de Tunisie en 2000.

(**) Emissions de CO₂ dues à l'utilisation de la biomasse dans la production d'énergie. Conformément à la méthodologie de l'IPCC de 2006, ces émissions sont à comptabiliser dans le module forêt et changement d'affectation des sols, et ne sont mentionnées ici qu'à titre indicatif.

(***) Les émissions de gaz autres que CO₂ dues à la biomasse-énergie, sont incluses dans la première ligne du tableau (combustion).

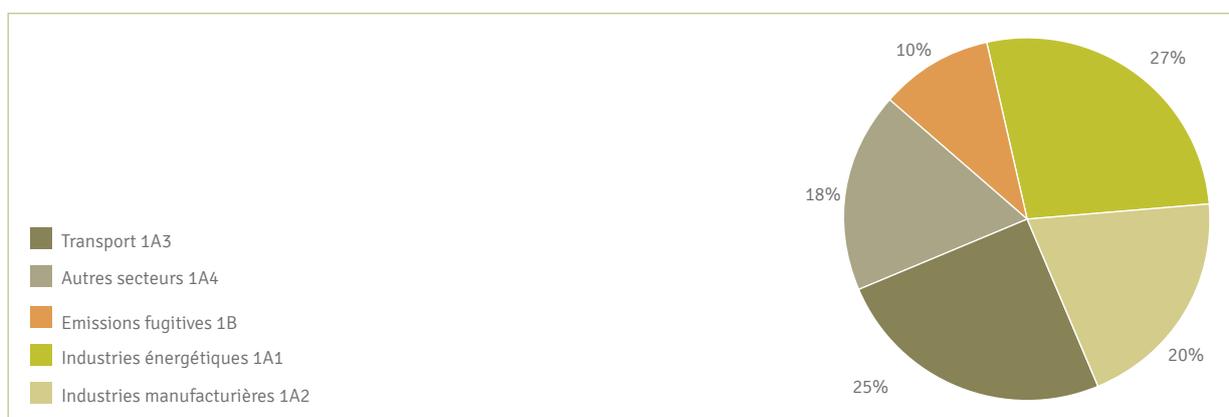
Les sources fixes de combustion concernent la production d'électricité, l'industrie du pétrole et du gaz, les industries manufacturières et celles du bâtiment, ainsi que les secteurs résidentiel et commercial. Il est à noter que, conformément aux recommandations de l'IPCC (2006), seules les émissions de CH₄ et de N₂O qui résultent de la combustion de la biomasse par les ménages sont comptabilisées dans le secteur de l'énergie, alors que les émissions de CO₂ qui proviennent du brûlage de la biomasse doivent être citées pour information et incluses dans le secteur des CATF.

Les émissions de GES issues de la combustion de combustibles des moyens de transport (ferroviaire, aérien, routier, maritime et autres, pipelines exclus), sont comptabilisées dans le sous-secteur des transports. L'utilisation de l'essence et du diesel à des fins de transport par les industries minières et d'extraction du pétrole et du gaz mais aussi par l'agriculture et la foresterie relève également du sous-secteur des transports et autres. En revanche, les émissions de combustibles relevant de sources internationales ne sont pas comptabilisées dans les émissions nationales et ne sont citées que pour mémoire.

Bilan des émissions de GES par source en 1994 et en 2000 (en 1000 TE-CO₂)

CATEGORIE DE SOURCE	Emissions de GES (1000 TE-CO ₂)	
	1994	2000
Secteur énergie	1994	2000
Total Energie	15 251,10	20 781,00
Utilisation de combustible et de carburant (1.A)	14 067,50	18 716,00
Industries énergétiques (1.A.1)	4 067,60	5 642,60
Industries manufacturières et construction (1.A.2)	3 335,90	4 256,50
Transports (1.A.3)	3 408,30	5 158,70
Autres secteurs (1.A.4)	3 255,70	3 658,10
Emissions fugitives provenant de combustibles (1 B)	1 183,60	2 065,00

Répartition des émissions de GES dues aux utilisations énergétiques en 2000 (%)



4.1.2 Combustion de combustibles (catégorie 1.A)

Il s'agit de la combustion de combustibles fossiles par les industries énergétiques, les industries manufacturières, les transports et autres secteurs (secteur résidentiel et commercial). Les méthodes de calculs utilisées sont conformes à la méthode de niveau 2 de l'IPCC (révisée en 2006).

En 2000, la combustion de combustibles fossiles a engendré environ 18,72 MTE-CO₂, soit environ 50% des émissions brutes de GES de Tunisie. Les quantités d'émissions ont augmenté de 36,3% par rapport à 1994. Celles provenant de la combustion des industries énergétiques et du transport ont augmenté quant à elles, respectivement de 39% et 51%.

Bilan national de GES dans le secteur de l'énergie en 2000 (en 1000 tonnes)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVMN	SO ₂
Total national	19 048	73,61	0,605	95,06	405,77	71,65	63,95
Combustion de Fuels	18 195	15,99	0,605	95,06	404,86	60,75	63,55
1. Industries énergétiques	5 565	3,59	0,019	15,01	13,53	1,07	
2. Industries manufacturières et construction	4 243	0,20	0,03	10,36	1,43	0,35	
3. Transport	5 120	0,66	0,081	49,08	182,22	36,10	
4. Autres secteurs	3 266	10,54	0,482	20,22	207,68	23,23	
Emissions fugitives							
1. Fuels solides		0,0					
2. Huiles et gaz naturels	855	57,62		0,00	0,91	10,90	0,40

4.1.3 Industries énergétiques (catégorie 1.A.1)

Les industries énergétiques incluent la production d'électricité, les industries du raffinage du pétrole et le traitement du gaz et autres industries énergétiques (essentiellement la production de pétrole brut et de gaz naturel).

Emissions de CO₂ dues à l'énergie par secteur en Tunisie en l'an 2000

	Emissions de CO ₂ (1000 tonnes)	Répartition (%)
Industries énergétiques	5 565(*)	30,6
Industries manufacturières, mines et construction	4 243	23,3
Transport	5 120	28,1
Tertiaire	552	3,0%
Résidentiel	1 671	9,2%
Agriculture, pêche et forêt	1 043	5,7%
TOTAL	18 194	100,0

(*) Dont 4 958 milliers de tonnes imputables à la production d'électricité

En 2000, le sous-secteur des industries énergétiques a émis 5,6 MTE-CO₂ (ou environ 14,6 % des émissions totales brutes de GES en Tunisie), soit une hausse globale d'environ 39% depuis 1994. Près de 5 MTE-CO₂ ou 89% environ proviennent de la production par la STEG, alors que le raffinage du pétrole et autres industries énergétiques ont représenté ensemble 11 %, soit 0,64 MTE-CO₂.

Les émissions dues à la combustion de carburants associées au transport, du pétrole et du gaz naturel par pipeline sont comptabilisées dans le poste « Transports – autres sous-secteurs », conformément aux directives de l'IPCC révisées en 2006.

Les émissions liées aux activités d'évacuation et de torchage en cours de production, de transformation

et de raffinage des combustibles fossiles, sont comptabilisées elles en tant qu'émissions fugitives.

Production d'électricité (catégorie 1.A.1.a)

Les émissions associées à la production d'électricité suite à la combustion de combustibles dans les centrales thermiques sont comptabilisées dans la catégorie « production d'électricité ». Celle-ci comprend en Tunisie, l'électricité thermique (turbines à gaz), hydro-motrice et éolienne. La part de l'énergie d'origine éolienne et hydroélectrique est faible et ne représente que 0,94% du total de l'énergie produite en 2000.

Raffinage du pétrole (catégorie 1.A.1.b)

La quantité totale de CO₂ qui en résulte est minime et ne représente que 149 000 TE-CO₂.

Fabrication de combustibles solides et autres industries énergétiques

En Tunisie, cette catégorie inclut les émissions associées à la production de pétrole brut et de gaz naturel. Les émissions totales ont été évaluées à 457 000 TE-CO₂.

a• Méthodologie

Les émissions par source ont été calculées suivant la méthode de niveau 2 de l'IPCC. Les données d'activités sont fournies par les statistiques nationales pour l'année 2000 (ANME, 2000 ; INS, 2000).

En 2000, les émissions associées à la production industrielle d'électricité représentaient près de 92% des émissions du secteur « production d'électricité ». En ce qui concerne le raffinage du pétrole, les émissions sont calculées sur la base des combustibles utilisés par ce secteur. Les émissions provenant du torchage sont imputées dans la section des émissions fugitives.

Le secteur de la fabrication de combustibles solides et autres industries énergétiques (catégorie 1.A.1.c) tient compte des émissions provenant de l'utilisation de combustibles pour la production de combustibles fossiles (coke de pétrole, gaz de distillation, gaz naturel et gaz naturel liquéfié). Là encore, les émissions dues au torchage sont reportées dans la section des émissions fugitives.

b• Degré d'incertitude et cohérence des résultats

L'incertitude sur les estimations des quantités d'émissions de CO₂ dans le sous-secteur des industries énergétiques ne doit pas excéder ±5 % pour tous les gaz. Le degré d'incertitude dépend largement des méthodes de collecte des données sur les activités, mais aussi de la représentativité des coefficients d'émission reflétant les propriétés des combustibles utilisés. Les volumes et les propriétés de combustibles commerciaux sont généralement bien précis dans

les statistiques. Ceci n'est cependant pas le cas des quantités déclarées et utilisées directement. C'est en revanche le cas de l'utilisation directe du gaz naturel provenant des puits de production.

Pour le CH₄ et le N₂O, les incertitudes sont plus grandes (±50% pour le CH₄ ; ±100% pour le N₂O) et sont liées aux facteurs d'émission, mais également à la composition élémentaire des produits ainsi qu'aux données d'activité par sous-secteur.

c. AQ/CQ et vérification

Un contrôle de qualité (CQ) de niveau 1 a été effectué sur les estimations des émissions de GES dues à la combustion, en vérifiant les coefficients d'émission, les données sur les activités et les estimations du CO₂, du CH₄ et du N₂O pour les données de 1994 et 2000. Ce contrôle de la qualité a été réalisé conformément aux recommandations de l'IPCC (2006). Parmi les éléments de ce contrôle figure un examen du modèle d'estimation, des données sur les activités, des coefficients d'émission, de la cohérence des résultats précédents (1994, 1997), des erreurs de transcription, des coefficients de conversion, ainsi que des calculs types des émissions. Aucun problème majeur n'a été rencontré au cours de ces contrôles.

4.1.4 Industries manufacturières et de construction (catégorie 1.A.2)

Les émissions sont celles produites lors de la combustion de combustibles fossiles par les industries du secteur minier, manufacturier et du bâtiment.

En 2000, le sous-secteur des industries manufacturières et de construction était responsable d'une quantité d'émissions de 4,26 MTE-CO₂, soit 26,8% de plus par rapport à celle de 1994.

a• Méthodologie

Les émissions issues de la combustion de combustibles pour chaque catégorie et pour l'ensemble du sous-secteur des industries manufacturières et de la construction sont calculées à l'aide de la méthodologie de niveau 2 de l'IPCC.

Les données d'activités proviennent des annuaires statistiques sur la consommation et sur le commerce

extérieur (INS, 2000), et des annuaires statistiques de l'ANME (2000).

b- Degré d'incertitude et cohérence des résultats

Le degré d'incertitude des émissions dues au sous-secteur des industries manufacturières et de la construction peut varier de ± 5 % pour tous les gaz. Les données d'activités concernant les quantités de combustibles utilisés par catégorie d'activité, et les coefficients d'émission de CO₂ et autres gaz correspondants sont estimés avec précision, du fait qu'il s'agit pour l'essentiel de combustibles du commerce, de propriétés connues pour des quantités précises achetées, destinées à la consommation et répertoriées avec précision.

c- AQ/CQ et vérification

Un CQ de niveau 1 compatible avec les recommandations de l'IPCC (2006), effectué sur l'ensemble des calculs d'estimations des émissions de GES de la combustion fixe (vérification des coefficients d'émission, données d'activités, estimations du CO₂, du CH₄ et du N₂O) pour les années 1994, 1997 et 2000, n'a pas décelé d'erreurs ni de problèmes majeurs.

4.1.5 Transports (catégorie 1.A.3)

Les émissions dues au sous-secteur des transports représentent 5,16 MTE-CO₂ ou 27,6% des émissions de GES dues à la combustion de combustibles. Ces émissions sont en nette croissance. En effet, elles ont augmenté (en 2000) de 51,4% par rapport à celles de 1994.

a- Méthodologie

Les émissions découlant de la combustion de combustibles dans le sous-secteur des transports sont calculées selon l'approche sectorielle de la méthode de niveau 2 conforme aux recommandations de l'IPCC (2006). Etant donné la variété de véhicules, des activités et des combustibles, les coefficients d'émission pris en compte sont multiples. Le modèle de calcul intègre tous les types de véhicules et calcule

toutes les émissions du sous-secteur.

Les données d'activités proviennent des relevés statistiques de l'INS sur la consommation de la Tunisie et sur le commerce extérieur, mais aussi ceux de l'ANME en ce qui concerne la production, le commerce et la consommation de carburants.

b- Degré d'incertitude et cohérence des résultats

Les données d'activités sur la combustion de combustibles dans le sous-secteur des transports sont relevées avec précision dans les bilans statistiques. Ainsi, les incertitudes sur les émissions de GES sont essentiellement dues aux erreurs dues aux calculs des facteurs d'émission. Ceux-ci sont étroitement liés à la composition des combustibles commercialisés.

Malgré le nombre réduit des observations (1994, 1997 et 2000), l'incertitude peut être estimée à ± 5 % sur les émissions du CO₂ et à 50% (au maximum) sur les émissions de CH₄ et de N₂O.

c- AQ/CQ et vérification

Des contrôles de qualité de niveau 1, conformes aux recommandations de l'IPCC ont porté sur les catégories clés des transports. Aucune erreur n'a été décelée. Il faut souligner les contributions efficaces des institutions concernées comme l'ANME, mais aussi les ministères concernés, qui communiquent des statistiques précises et fiables, et des analyses courantes annuelles sur la consommation de combustibles en Tunisie.

4.1.6 Autres secteurs (catégorie 1.A.4)

Ce sous-secteur englobe le secteur administratif/commercial, le secteur résidentiel et le secteur de l'agriculture/pêches/forêts. Les émissions sont dues surtout à la combustion de combustibles pour le chauffage des locaux. Elles proviennent également de la combustion de carburants par les véhicules et sont comptabilisées au niveau du secteur des transports. La combustion de la biomasse demeure une source importante d'émissions de GES par les ménages, avec des émissions importantes de CH₄ et

de N₂O. Cependant, le CO₂ provenant de la combustion de biomasse n'est pas comptabilisé au niveau du secteur de l'énergie. Il est imputé aux changements d'affectation des terres et forêts (CATF).

En 2000, ce sous-secteur « Autres secteurs » a compté pour environ 3,27 MTE-CO₂, soit 18% des émissions

dues à la combustion dans le secteur de l'énergie. Ceci correspond à une très légère augmentation (0,32%) par rapport aux données de 1994.

Contribution des « Autres Secteurs » à la production de GES

	Emissions en 1000 TE-CO ₂		%
	1994	2000	
Autres secteurs 1.A.4 (total)	3 255,7	3 266	100
Tertiaire/commercial	763,4	552	16,9
Résidentiel	1 611,8	1 671	51,1
Agriculture/pêches/foresterie	880,5	1 043	31,9

Les émissions de la catégorie résidentielle sont estimées à environ 1,67 MTE-CO₂ soit 51,1 % du sous-secteur «Autres secteurs», contre seulement 0,55 MTE-CO₂ (16,9 %) pour le secteur commercial et tertiaire. Les émissions du secteur commercial et tertiaire ont sensiblement baissé depuis 1994 puisqu'elles s'élevaient à 0,77 MTE-CO₂, en raison des mesures prises en matière d'économies d'énergie.

a- Méthodologie

Les émissions de ces catégories ont été calculées selon une méthode de niveau 1 qui prend en compte les facteurs de conversion et d'émission par défaut, tel que suggérés par les recommandations de l'IPCC (2006). Les émissions dues à la combustion de carburants diesel et essence (carburants de transport), sont imputées au sous-secteur des transports.

Pour le secteur commercial et administratif, le calcul des émissions est basé sur les données relatives à la consommation de carburants déclarées par le secteur

commercial et les administrations publiques, saisies et vérifiées par l'ANME.

En ce qui concerne le secteur résidentiel, le calcul des émissions tient compte des données relatives à la consommation de combustible déclarée et recensée pour le secteur résidentiel. La méthode de calcul prend en considération la combustion de biomasse (carbonisation et bois de chauffage) selon les données régionales recueillies pour cette catégorie par l'ANME. La catégorie « Agriculture, pêches et forêts » inclut les émissions dues à la combustion de combustibles de sources fixes émanant des industries agricoles et forestières. En effet, les émissions des pêches sont limitées et déclarées pour l'essentiel dans les rubriques « transports » et « autres industries manufacturières d'aliments ». Les émissions dues aux sources mobiles reposent sur des données sur la consommation de carburants, déclarées à la rubrique « agriculture et foresterie » et recueillies par l'ANME.

b- Degré d'incertitude et cohérence des données

Le degré d'incertitude sur les émissions de GES du sous-secteur « Autres secteurs » peut varier de $\pm 10\%$ pour le CO_2 , de $\pm 90\%$ pour les autres gaz. Les incertitudes sur les quantités de combustibles déclarées et sur les coefficients d'émission de CO_2 , sont faibles (combustibles commerciaux de propriétés déterminées). Les incertitudes les plus grandes concernent les émissions de CO_2 , de CH_4 et de N_2O résultant de la combustion de biomasse du secteur résidentiel, notamment à cause de l'incertitude rattachée à leurs coefficients d'émission qui peut, elle, atteindre ou dépasser 100%. Même si cette combustion ne représente qu'une faible part de la consommation énergétique du secteur résidentiel, l'incertitude estimée pour les émissions de CH_4 et N_2O apparaît nettement élevée (au minimum $\pm 90\%$).

c- AQ/CQ et vérification

Des contrôles de qualité de niveau 1 ont été effectués, conformément au guide des bonnes pratiques de l'IPCC (2006). Aucune erreur majeure n'a été décelée.

4.1.7 Émissions fugitives (catégorie 1.B)

En Tunisie, les émissions fugitives ont été évaluées à environ 2,07 MTE- CO_2 pour l'année 2000, soit 9,9% des émissions totales de GES dues à l'énergie, ce qui représente une augmentation de 74,5 % par rapport à l'année 1994. Cette hausse sensible au cours de cette période s'explique par l'entrée en production du champ de gaz naturel de MISKAR.

Le sous-secteur des émissions fugitives englobe les émissions dues à la production et à la transformation du pétrole et au transport et à la distribution du gaz naturel. On distingue deux sous-catégories : « Production de pétrole et de gaz », et « Distribution de gaz naturel ».

Production de pétrole et de gaz

Cette catégorie inclut les émissions fugitives dues à l'exploration, à la production, à la transformation et au transport du pétrole et du gaz naturel. Elles

sont d'origine accidentelle ou proviennent de rejets volontaires, déclarés ou illicites.

Pour les puits de pétrole et de gaz en cours d'exploitation, les émissions, notamment de CH_4 , peuvent être importantes. Elles sont cependant limitées pour les puits pétroliers en cours de forage et d'essai.

Distribution du gaz naturel

Le gaz naturel à haute pression est distribué aux consommateurs par le réseau de gazoducs. Les sources d'émissions fugitives comptabilisées dans cette sous-catégorie sont celles qui sont produites volontairement, lors du dégazage lié aux activités d'entretien.

a- Méthodologie

Les données relatives à ces activités proviennent d'enquêtes effectuées auprès des sociétés de distribution de gaz par l'ANME (ANME, 2000).

Concernant les activités de production de pétrole et de distribution du gaz naturel, les coefficients d'émission généraux ont été calculés pour le réseau d'exploitation et de distribution, sur la base des données fournies par les compagnies pétrolières et l'ANME. La méthodologie utilisée est de niveau 1 de l'IPCC.

a.1- Production de pétrole et de gaz naturel

Les émissions fugitives produites au cours des activités de production de pétrole et de gaz naturel sont difficilement mesurables et les données disponibles se révèlent peu fiables au vu des bilans comptabilisant les quantités de combustibles acheminées dans les conduites de transport, et arrivant dans les centrales de traitement.

Dans le cadre du présent inventaire, les émissions fugitives prises en compte sont celles émises lors des activités d'extraction du pétrole.

a.2- Distribution du gaz naturel

Les opérations de dégazage, qui émettent de grandes quantités de CH_4 , et dans une moindre mesure du CO_2 , sont une pratique courante. Par conséquent,

les facteurs d'émission recommandés par l'IPCC, et par son guide de bonnes pratiques de 2006, ont été utilisés.

b- Degré d'incertitude et cohérence des données

Les émissions fugitives du secteur de l'industrie du pétrole et de gaz pour l'année 2000 proviennent des relevés de compagnies pétrolières et des enquêtes menées par l'ANME (2002-2003). Le degré d'incertitude des émissions globales de 2000 (en TE-CO₂) peut être élevé, en raison de l'imprécision des données d'activités qui ne sont pas appuyées par des relevés réguliers, surtout en ce qui concerne le torchage. Une erreur de ±100% ou même supérieure, sur les données d'activités est tout à fait possible. Les erreurs sur les facteurs d'émission considérés, sont en revanche plus limitées, dans les limites de ±5%. Il en résulte une erreur approximative minimale sur les estimations de GES, de l'ordre de ±95%.

c- AQ/CQ et vérification

Tous les résultats obtenus ont été vérifiés et comparés aux données des inventaires précédents. Un contrôle de qualité de niveau 1 conforme aux recommandations de l'IPCC (2006) a été effectué sur les estimations de CO₂ et de CH₄, pour les sous-catégories des « Industries du pétrole et du gaz naturel » et celle de « l'évacuation et du torchage » de ces types de gaz. Aucune erreur importante n'a été décelée durant ce contrôle de qualité.

4.1.8 Emissions pour mémoire (catégorie 1.C)

4.1.8.1 Combustibles des soutes internationales (catégorie 1.C.1)

Il s'agit de vérifier que les combustibles vendus à des transporteurs maritimes ou aériens, immatriculés à l'étranger, ont bien été utilisés dans le cadre d'activités internationales de transport.

4.1.8.2 Transport aérien (catégorie 1.C.1.A)

Les émissions sont calculées à l'aide des données sur la consommation de carburants attribuée aux compagnies aériennes étrangères et sur la proportion de carburants vendus aux compagnies nationales et utilisée pour assurer des vols internationaux.

4.1.8.3 Transport maritime (catégorie 1.C.1.B)

Les émissions correspondantes sont calculées à l'aide des données sur la consommation en carburant vendu pour des navires étrangers, et celui de compagnies nationales assurant un trafic maritime international.

4.1.9 Émissions de CO₂ attribuables à la biomasse

Le bois de chauffage dans le secteur résidentiel demeure une source importante de carbonisation et de chauffage pour de nombreux ménages en Tunisie. La combustion du bois émet du CO₂, du CH₄, du N₂O et du CO. Le calcul des émissions qui en découlent se fonde sur les données d'activités mesurées par la quantité estimée de bois brûlé, et sur des coefficients d'émission propres.

4.2 Procédés industriels (Secteur 2)

Les émissions du secteur des procédés industriels sont directement issues des activités industrielles non énergétiques. Ces émissions relèvent de la production et de l'utilisation de produits minéraux, de la production des acides nitrique et sulfurique, de la production de métaux ferreux, de la consommation d'halocarbures et de solvants, de la production de pâtes à papier, de la production de vins et bières, et des productions et procédés agroalimentaires.

Les émissions indirectes de GES et de SO₂ résultant d'activités comme l'asphaltage des toits et des routes et de la production de pâtes à papiers n'ont pas été estimées.

Les quantités d'émissions de GES dues aux procédés industriels, par gaz, par type de production et par branche industrielle, sont mentionnées dans les tableaux suivants:

Emissions de GES, par gaz, dues aux procédés industriels en Tunisie en 2000

Gaz	Quantité en 1000 tonnes
CO ₂	3 616,85
CH ₄	-
N ₂ O	1,091
NO _x	0,204
CO	0,95
COVNM	9,097
SO ₂	47,34

Emissions de GES dues aux procédés industriels en 1000 TE-CO₂ en 2000

Catégories de sources de GES	Emissions de GES en 1000 TE-CO₂
Procédés industriels TOTAL	3 954,7
1. Produits minéraux	3 253,06
Production de ciments	2868,85
Chaux artificielle	342,65
Chaux hydraulique	27,14
Utilisation du calcaire et de la dolomite	7,22
Carbonate de sodium	7,20
2. Industries chimiques	338,3
Acide nitrique	338,3
3. Production de métaux	363,12
Sidérurgie	363,12

**Emissions de GES des procédés industriels par branche industrielle
(en 1000 tonnes) en 2000**

	CO ₂	N ₂ O	NO _x	CO	COVNM	SO ₂
Total des émissions	3616,18	1,091	0,2038	0,9495	9,099	47,34
Industries minérales	3 253,06				0,136	1,70
Industries chimiques		1,091	0,1746			44,546
Industries métallurgiques	363,12		0,0292	0,9495	0,073	1,095
Autres industries (agroalimentaire, papier, etc.)			-		8,890	

Afin de s'assurer de la qualité des résultats de l'inventaire, les catégories clés actualisées de ce secteur ont toutes, fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 1.

4.2.1 Produits minéraux (catégorie 2.A)

Ce sous-secteur englobe la production de matériaux et l'utilisation de minéraux non métalliques, comme les ciments, la chaux, le calcaire, la dolomite et le carbonate de sodium. Les émissions possibles, mais minimales, de GES attribuables à la production ou à l'utilisation d'autres produits minéraux, n'ont pas été estimées.

a- Production de ciments (catégorie 2.A.1)

La majeure partie du ciment produit en Tunisie est de type Portland, avec une teneur en CaO de 63%. Le ciment blanc produit par une seule usine (SOTACIB) contient jusqu'à 80% de CaO. D'autres ciments spécialisés ont une teneur variable en chaux, mais ils sont généralement utilisés en faibles quantités.

b- Production de chaux (catégorie 2.A.2)

En Tunisie, la chaux est produite par les cimenteries qui utilisent des calcaires à très faibles teneurs en MgO (<2%). La chaux artificielle et la chaux

hydraulique produite sont à fortes teneurs en CaO (marges respectives : 96-98% et 80-90%).

c- Utilisation de calcaire et de dolomite (catégorie 2.A.3)

Le calcaire est utilisé dans de nombreux procédés industriels, autres que ceux du ciment et de la chaux. Il sert de matière première dans les verreries et dans les hauts fourneaux des fonderies de métaux non ferreux. La dolomite peut aussi être utilisée à cette fin. Les quantités de calcaire et de dolomite utilisées en sidérurgie dépendent de la nature du minerai de fer. Le CO₂ est dégagé lors de la décomposition du carbonate à haute température.

Parmi les autres utilisations du carbonate de calcium, on peut citer la désulfuration des gaz de combustion et le traitement ou la neutralisation des eaux usées.

d- Utilisation de carbonate de sodium (catégorie 2.A.4)

Le carbonate de sodium (Na₂CO₃) peut être utilisé dans de nombreux procédés (fabrication du verre, de produits chimiques, de savons et de détergents, de pâtes à papiers, etc.). D'après les données statistiques de l'INS (2000), ce sont surtout les industries du verre qui utilisent le carbonate de sodium comme fondant. Du CO₂ est rejeté lorsque le carbonate de sodium se décompose à température élevée, dans un four à verre.

4.2.1.1 Méthodologie

• Production de ciment (catégorie 2.A.1)

L'estimation des émissions de CO₂ résultant de la production de ciment s'est basée sur la méthode de niveau 2 des recommandations de l'IPCC (IPCC, 2000): Les données d'activités sur la production de clinker en 1994 et 2000 proviennent de l'Annuaire Statistique de la Tunisie (2000) qui fournit les détails de la production et la consommation de produits par secteur et par an, de 1994 à 2000.

Les données sur la composition moyenne des clinkers et des ciments ont été obtenues auprès des cimenteries et d'organismes spécialisés dans l'analyse et le contrôle de qualité des produits en Tunisie.

• Production de chaux (catégorie 2.A.2)

Pour estimer les émissions de CO₂ résultant de la production de chaux, les facteurs d'émission de 750 kg de CO₂/tonne de chaux vive, et de 590 kg de CO₂/tonne de chaux hydraulique, ont été utilisés. Ces facteurs d'émission par défaut, recommandés par l'IPCC, sont calculés à partir des valeurs stœchiométriques de la réaction de calcination et des valeurs par défaut pour la teneur moyenne en CaO de ces deux types de chaux. Les données exactes sur la production totale de chaux artificielle et de chaux hydraulique, pour les années 1994 à 2000, figurent dans l'Annuaire Statistique de la Tunisie (INS, 2000).

Les émissions de CO₂ dues à l'industrie de la chaux ont été calculées en utilisant les facteurs d'émission mentionnés précédemment, et les données de l'année 2000 en matière de production nationale de chaux hydraulique et artificielle.

La technique d'estimation du CO₂ utilisée pour la chaux, tient compte des productions des différentes catégories de chaux et des données relativement précises sur la composition des produits en CaO et MgO. Elle est une amélioration par rapport à la méthode de niveau 1.

• Utilisation de calcaire et de dolomite (catégorie 2.A.3)

Les émissions de CO₂ provenant de l'utilisation

du calcaire et de la dolomite ont été calculées séparément, avec deux coefficients d'émission différents. Le calcul stœchiométrique du procédé, permet de calculer un facteur de 440 kg de CO₂/tonne de chaux lorsqu'on utilise un calcaire pur. Cependant, comme ce n'est pas toujours le cas dans l'industrie, un facteur de correction sur la base d'un taux de pureté de 95% a été pris en considération. On obtient ainsi un FE global de 418 kg de CO₂/tonne de calcaire.

La dolomite contient de la calcite (CaCO₃) et de la magnésite (MgCO₃), dans des proportions respectives moyennes proches de 55% et de 45%. Le facteur d'émission de la calcite d'après la stœchiométrie est de 440 kg de CO₂/tonne et celui de la magnésite de 522 kg de CO₂/tonne. Compte tenu des proportions précédentes, le FE d'une dolomite pure sera de :

$$FE = 0,55*440 + 0,45*522 = 480 \text{ kg CO}_2/\text{tonne de dolomite}$$

Et pour une dolomite moyenne avec un taux de pureté de 95%, ce coefficient sera de 456 kg CO₂/tonne de dolomite.

Les données sur la consommation apparente en carbonate de calcium et en dolomite dans les hauts fourneaux, les fonderies, les verreries, les utilisations manufacturières (craies, aliments de bétail, etc.), proviennent des établissements industriels et des statistiques du commerce extérieur de la Tunisie (INS, 2000).

Sachant que, dans la plupart des cas, le carbonate de calcium et la dolomite sont utilisés comme des produits inertes, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas transformés ou calcinés pour dégager du CO₂, il a été considéré que seulement 10% de la consommation nationale en dolomite et en carbonate de calcium étaient transformée par calcination. Afin d'estimer les émissions de CO₂, les quantités pondérées de carbonate de calcium et de dolomite calcinées ont été multipliées par les coefficients d'émission correspondants, calculés ci-dessus.

Cette méthode qui utilise les données nationales sur la consommation et un calcul de facteurs d'émission en fonction des caractéristiques du carbonate de calcium et de la dolomite, mais aussi de leur utilisation industrielle, est considérée comme une méthode

de niveau 2. La méthodologie pour le calcul des émissions de CO₂ dues à l'utilisation de calcaire et de dolomite, est consignée dans les recommandations de l'IPCC pour les inventaires nationaux de GES – version révisée en 2006 (IPCC, 2006).

• Production et utilisation de carbonate de sodium (catégorie 2.A.4)

La Tunisie ne produit pas de Na₂CO₃. Cependant, les applications de ce produit donnent lieu à des émissions de CO₂. Par exemple, du CO₂ se dégage lorsque le Na₂CO₃ se décompose à température élevée dans un four à verre par une réaction de fusion.

Le bilan massique se traduit par la production d'une mole de CO₂, pour chaque mole de Na₂CO₃ utilisée dans le procédé. Le FE de CO₂ du Na₂CO₃ se définit alors comme suit :

$$FE = (1000 \text{ g/kg}) \times (44 \text{ g CO}_2/\text{mol}) / (106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3/\text{mol})$$
$$FE = 415 \text{ g CO}_2/\text{kg Na}_2\text{CO}_3$$

Ce facteur de 415 g de CO₂/kg Na₂CO₃ a été appliqué aux données nationales sur la consommation de carbonate de sodium pour calculer les émissions correspondantes en CO₂. Les quantités de carbonate de sodium utilisées ont été estimées à partir des données du commerce extérieur de la Tunisie (INS, 2000).

L'approche utilisée pour le calcul est considérée comme une méthode de niveau 1, car elle utilise des données précises sur la consommation et un coefficient d'émission, calculé à partir de la stœchiométrie de décomposition du carbonate de soude au cours du procédé.

4.2.1.2 Degré d'incertitude et cohérence des résultats

• Production de clinker et de ciments

Selon les recommandations de l'IPCC (2006), l'estimation établie d'après les données directes sur la production de clinker telle que présentée ci dessus, peut entraîner une erreur variant de 5 à 10 %, mais il ne s'agit que d'une valeur d'incertitude par défaut approximative de l'IPCC. Selon les données obtenues des usines de ciment en Tunisie, l'erreur pourrait être plutôt proche de 5%. Cependant, une évaluation plus

précise s'impose à l'avenir pour analyser l'incertitude de la présente estimation des émissions de ce sous-secteur.

Pour le ciment ordinaire (de type Portland), les estimations du CO₂ émis sont basées sur le calcul d'un FE qui tient compte de l'équation recommandée par l'IPCC (2006), et de la teneur de ce type de ciment en CaO. Ceci augmente donc la marge d'erreur (erreur analytique concernant le CaO, de 1 à 2%, et erreur sur les données de production du ciment et de clinker). Dans ce cas, l'estimation des incertitudes de calcul peut être aussi élevée que 20%.

• Production de chaux

L'incertitude du facteur d'émission correspond à l'incertitude sur la composition de la chaux, en particulier la proportion de chaux hydraulique. Cette incertitude est par défaut de 15%.

L'Annuaire Statistique de la Tunisie (INS, 2000) contient des données relativement précises sur la production nationale de chaux et sur le commerce extérieur de ce produit. L'incertitude sur les émissions de CO₂ dues à la production de chaux a été évaluée à ±20 %.

• Utilisation de calcaire et de dolomite

C'est l'estimation de la quantité de carbonate de calcium et de dolomite calcinée qui introduit le plus d'erreur dans les données d'activités de ce sous-secteur : calcaire de flux dans les hauts fourneaux, additif pour verrerie, utilisation chimiques, etc. D'autres erreurs apparaissent également pour les estimations des proportions de calcaire et de dolomies utilisées au niveau du total, au niveau de la composition chimique considérée pour la magnésite et la chaux dans la dolomite, etc. Dans ces conditions, l'erreur peut atteindre ou même dépasser 100%.

• Production et utilisation de carbonate de sodium

Les incertitudes associées aux émissions de CO₂ dues à l'utilisation du carbonate de sodium relèvent principalement des données sur les activités. Les informations relatives aux importations et exportations de ce produit sont fournies par les

Données du Commerce Extérieur de la Tunisie (INS, 2000). L'incertitude sur ces données est faible et ne devrait pas dépasser 2 à 5%. L'incertitude la plus élevée, tient au contraire aux utilisations du carbonate de calcium. En définitif, il n'est pas exclu que l'incertitude globale associée aux émissions de CO₂ attribuables à l'utilisation de carbonate de sodium puisse être de l'ordre de ±10%.

4.2.1.3 AQ/CQ et vérification par catégorie Production de clinker et de ciment

Cette catégorie a fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 1 comme établis dans le plan d'AQ/CQ. Les contrôles effectués sont conformes aux procédures de CQ de niveau 1 de l'IPCC (2006). Le contrôle qualité de niveau 1 n'a décelé aucun problème d'importance concernant les résultats des émissions de ce sous-secteur et la procédure utilisée.

• Production de chaux

Cette catégorie a également fait l'objet de contrôles de qualité en suivant la démarche du plan d'AQ/CQ. Les contrôles effectués s'appliquent aux procédures de CQ pour tout inventaire de niveau 1, comme proposé par l'IPCC (2006). Aucune anomalie n'a été relevée.

• Utilisation de calcaire et de dolomite

Les contrôles effectués sont conformes aux procédures de CQ de l'inventaire de niveau 1 de l'IPCC (2006). Aucun problème d'importance n'a été rencontré.

• Utilisation et production de carbonate de sodium

Il ne s'agit pas ici d'émissions de CO₂ attribuables à une catégorie clé. Néanmoins, un CQ a été effectué. On pourrait prévoir de recalculer les données du modèle présenté, de faire une analyse comparative de ces données sur plusieurs années successives, et de vérifier les erreurs quant aux utilisations du carbonate de calcium. Aucun problème majeur n'a cependant été décelé lors des contrôles de qualité de niveau 1.

4.2.2 Production d'acide nitrique (catégorie 2.B.2)

L'acide nitrique (HNO₃) est utilisé, en Tunisie, dans la fabrication des engrais phosphatés. La production d'acide nitrique se fait en trois étapes :

- oxydation catalytique de l'ammoniac (NH₃) en NO,
- formation du dioxyde d'azote (N₂O), et
- formation d'acide nitrique par addition d'eau au N₂O.

La première étape consiste en la réaction de l'ammoniac gazeux avec l'oxygène de l'air, à haute température. Les gaz chauds subissent une catalyse en passant sur de nombreuses couches de treillis métalliques. La réaction débouche sur un mélange de monoxyde d'azote (NO), de dioxyde d'azote (N₂O) et de vapeur d'eau, avec quelques traces d'oxyde nitreux (N₂O) et d'azote (N₂). Un excès d'oxygène peut convertir le monoxyde en un dioxyde d'azote.

Les diverses étapes de l'oxydation de l'azote, en conditions de réduction, produisent du N₂O. En cours de réaction, le monoxyde d'azote peut aisément se décomposer en N₂O et en NO₂ sous haute pression et dans une marge de température de 30°C à 50°C.

La seconde étape du procédé de fabrication consiste en l'ajout d'eau au sommet d'une tour d'absorption pour hydrater le dioxyde d'azote et épurer les gaz. L'hydratation du dioxyde d'azote refroidi forme une solution contenant de 60 à 65 % d'acide nitrique, récupérée à la base de la tour. Un excès d'air (oxygène) introduit à la base de la tour, permet de compléter la conversion du monoxyde d'azote (NO) en dioxyde d'azote (NO₂).

4.2.2.1 Méthodologie

Les données d'activités pour le N₂O et le NO_x, permettant de calculer les émissions dues à la production d'acide nitrique et les facteurs d'émission, sont fournies par le seul fabricant de ce produit en Tunisie (Le Groupe Chimique Tunisien : GCT).

La méthode à appliquer est donc de niveau 3.

L'équation appliquée est la suivante :

Émissions de N₂O = Coefficient d'émission relatif à la production (N₂O/ HNO₃) × Production (HNO₃)

Pour estimer les émissions de niveau 3, ont été identifiés le type de procédé de production et la technique antipollution utilisée dans l'usine. La

production déclarée par le GCT a été multipliée par le FE correspondant, communiqué par cette même entreprise.

4.2.2.2 Degré d'incertitude et cohérence des résultats

Les données précises concernant les activités et les facteurs d'émission (N_2O et NO_x), vérifiées auprès de l'usine, ont permis de réduire l'incertitude des émissions liées à cette catégorie. Selon la présente évaluation de niveau 3, l'incertitude provient surtout de l'imprécision des techniques d'analyse (de 1 à 2%) et des estimations des données de production (< 5%). Ceci permet de déduire une valeur maximale de l'incertitude sur les estimations de l'ordre de $\pm 7\%$.

4.2.2.3 AQ/CQ et vérification pour la catégorie

La catégorie relative à la production d'acide nitrique a fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 3, conformes au plan d'AQ/CQ et aux procédures de CQ de l'inventaire de niveau 3 de l'IPCC (2006). Aucun problème n'a été décelé lors de ces contrôles.

4.2.2.4 Recalcul pour la catégorie

Les émissions dues à la production d'acide nitrique estimées en 1994 ont été recalculées, sur la base des nouvelles données, fournies par le GCT, concernant la production de 1994, les dispositifs antipollution et les FE déterminés et vérifiés pour N_2O et NO_x . Les améliorations apportées à cette catégorie ont donné lieu à un changement notable de la valeur estimée pour les émissions de 1994.

4.2.3 Production d'acide sulfurique

Le secteur de l'industrie des phosphates occupe une place importante dans l'économie de la Tunisie. La transformation du phosphate est basée sur le procédé d'attaque du concentré de phosphate par de l'acide sulfurique. Celui-ci est produit à partir du soufre commercial.

4.2.3.1 Méthodologie

L'industrie des phosphates compte 11 unités de production d'acide sulfurique. Les facteurs d'émission de SO_2 peuvent varier selon le procédé de fabrication utilisé. Il peut s'agir d'un procédé à simple absorption ou à double absorption. Pour ce dernier, le FE de SO_2 communiqué par le GCT est de 2,6 kg de SO_2 /tonne H_2SO_4 produite. En ce qui concerne le procédé à simple absorption, le facteur d'émission peut varier entre 13 et 17 kg de SO_2 /tonne de H_2SO_4 . Une valeur moyenne de 15 kg de SO_2 /tonne H_2SO_4 a été retenue comme facteur d'émission pour le calcul.

Les données de production pour l'année 2000 communiquées par le GCT sont les suivantes: 632 520 tonnes pour le procédé à simple absorption et 1 945 500 tonnes pour celui à double absorption.

La méthode d'estimation des émissions qui utilise les données d'activité et les facteurs d'émission du GCT (niveau 3) est la suivante.

$$\text{Émissions (tonnes) } SO_2 = \text{Production } H_2SO_4 \text{ (tonnes)} * \text{Émissions de } SO_2 \text{ (kg/tonne } H_2SO_4)$$

Les méthodes de calcul utilisées pour estimer les émissions de SO_2 liées à la fabrication d'acide sulfurique en 2000, sont conformes aux recommandations de l'IPCC (2006).

4.2.3.2 Degré d'incertitude et cohérence des résultats

Les données d'activité et les facteurs d'émission de SO_2 selon le type de procédé, vérifiées auprès de la GCT, réduisent considérablement l'incertitude des émissions liées à cette catégorie. La présente évaluation est de niveau 3. L'incertitude est surtout due à l'imprécision des techniques d'analyse (de 1 à 2%) et des estimations des données de production (< 5%). Comme pour l'acide nitrique, ceci permet de fixer une valeur maximale de $\pm 7\%$ pour l'incertitude sur les émissions de SO_2 .

4.2.3.3 AQ/CQ et vérification pour la catégorie

La production d'acide sulfurique a fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 3 comme précisé dans le plan d'AQ/CQ. Les contrôles effectués obéissent aux procédures de CQ pour un inventaire de niveau 3 (IPCC, 2006). Aucun problème n'a été décelé pour ces contrôles.

4.2.3.4 Recalculs pour la catégorie

Les émissions dues à la production d'acide sulfurique en 1994 ont été également recalculées sur la base des informations nouvelles fournies par le GCT sur la production de 1994, les dispositifs anti-pollution et les FE déterminés et vérifiés pour SO_2 . Les améliorations apportées à cette catégorie ont donné lieu à un changement notable de la valeur estimée pour les émissions de SO_2 en 1994.

4.2.4 Sidérurgie (catégorie 2.C.1)

La fonte est obtenue par le traitement du minerai d'oxyde de fer par réduction. Le coke de charbon contient du carbone qui agit comme agent réducteur. La réaction est amorcée par un flux carbonaté. L'acier, à faible teneur en carbone, est produit dans des fours par réaction oxydante, où un mélange de fonte et de déchets de ferrailles peut être refondu en présence d'oxygène. Le carbone, issu de la fonte dissous, s'oxyde en monoxyde de carbone (CO) ou en dioxyde (CO_2) de carbone. Les aciers ordinaires et alliés (inox par exemple) sont en général produits dans des FEA (fours électriques).

Au cours de la production de fonte, le carbone agit à la fois comme combustible et comme agent réducteur. Les émissions liées à la combustion de combustibles ne sont pas comptabilisées dans cette catégorie mais reportées dans la catégorie industrielle correspondante dans le secteur de l'énergie. En revanche, les émissions de CO_2 résultant de l'oxydation du réducteur sont incluses dans cette catégorie. Les émissions produites durant la transformation de la fonte en acier et le travail de l'acier, quoique moins importantes, sont également incluses dans cette catégorie. Elles proviennent de l'oxydation du carbone du fer brut et de la consommation des électrodes du four.

4.2.4.1 Méthodologie

L'estimation des émissions de CO_2 du secteur de la sidérurgie se fonde sur la méthode de niveau 2 décrite par l'IPCC. Cette méthode suit l'évolution du carbone au cours des procédés de fabrication et impose de calculer, de manière distincte, les émissions résultant

de la production de fonte et celles issues de la production d'acier.

Les données sur la production totale de fonte chargée dans les fours sidérurgiques, sur la production totale d'acier et sur la quantité d'acier produite dans les FEA proviennent de l'Annuaire Statistique de la Tunisie (INS, 2000). La valeur de la teneur en carbone de l'acier brut appliquée est de 1,3 %, correspondant à la moyenne des extrêmes de l'intervalle (0,5-2,11 %) caractérisant habituellement les aciers.

4.2.4.2 Degré d'incertitude et cohérence des résultats

La méthode d'estimation utilisée est de niveau 2. L'incertitude provient des incertitudes sur les analyses chimiques du carbone dans la fonte et dans l'acier, sur la consommation en agent réducteur, etc. Mais elle ne devrait pas excéder dans l'ensemble $\pm 10\%$.

4.2.4.3 AQ/CQ et vérification par catégorie

Cette catégorie a fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 2 tels qu'établis dans le plan d'AQ/CQ de l'IPCC (2006). Aucun problème n'a été décelé lors de ces contrôles.

4.2.5 Consommation d'halocarbures (catégories 2.E et 2.F)

En Tunisie, 259,9 tonnes de CFC 11 et 12 (fréons), 309,3 tonnes de HCFC notamment le HCFC-22, 10,5 tonnes de PFC et 90,8 tonnes de HFC sont consommées dans l'industrie, particulièrement celles du froid et de la climatisation.

4.2.5.1 Méthodologie

Les émissions de CFC et HCFC n'étant pas comptabilisées dans l'inventaire des GES, on peut suggérer que seule une fraction de 5% des HFC et PFC utilisés dans l'industrie (5% de 101,3 tonnes, soit 5,065 tonnes) a été perdue sous forme de fuite en 2000. Avec un pouvoir de réchauffement global moyen de 7 000 pour les HFC et PFC utilisés, les émissions de ce sous-secteur correspondent à 35 455 TE- CO_2 .

4.3 Solvants

Les solvants organiques constituent une source majeure d'émission de GES, sous la forme de COVNM. Cependant, la méthodologie de l'IPCC ne donne pas de recommandations spécifiques pour les FE des divers produits, ni pour la démarche de calcul à suivre. Contrairement aux produits organiques de type CFC, HCFC, HFC, PFC, les composés solvants, bien qu'ils soient nettement volatils, n'ont fait l'objet que de peu de recherches pour ce qui est de leurs facteurs d'émission et de leur pouvoir de réchauffement global. Les statistiques de l'INS (2000) permettent de fournir des données sur la consommation apparente de la Tunisie en matière de solvants divers, à partir des quantités enregistrées à l'import et à l'export. Les hypothèses de travail permettent ensuite de déterminer un ordre de grandeur des FE et de calculer par conséquent les émissions totales en COVNM. A titre de comparaison avec des estimations faites dans quelques pays industrialisés, il est possible de supposer que la totalité des produits se volatilise sous forme de COVNM dès lors qu'ils sont utilisés comme solvants, et que ces produits sont généralement très sensibles aux variations de température. Ainsi, sur la base d'un FE égal à 1 (100%), les quantités émises ont été estimées à 28 993 tonnes en 2000, soit une progression de 17 638 tonnes (155%) par rapport à 1994, et une croissance de la consommation au rythme de 2 520 tonnes (22%) par an, ce qui semble important.

4.3.1 Analyse des résultats

Les quantités d'émissions de COVNM provenant des solvants, en 2000, pourraient avoir atteint 28 993 tonnes, soit approximativement 26,4% de la totalité des émissions de COVNM en Tunisie, toutes sources d'émissions confondues.

4.3.2 Méthodologies, hypothèses adoptées et sources d'information

Méthodologies utilisées

L'approche de calcul des émissions de COVNM dues aux solvants se base sur les estimations des

inventaires de 1994 et 1997 en Tunisie et sur des données comparatives de statistiques de quelques pays de l'Union Européenne. Les sous-secteurs principaux de l'utilisation des solvants sont les applications de peintures et de vernis, le dégraissage industriel et le nettoyage à sec, certains procédés chimiques et de synthèse, l'impression et l'édition, et les usages domestiques.

Il n'y a pas de données d'activités relatives aux solvants en Tunisie. Ces produits ne sont pas récupérés après leur utilisation. L'hypothèse faite au niveau de l'inventaire est de considérer que la totalité des solvants utilisés se volatilise sous forme de COVNM.

Hypothèses adoptées

L'absence d'informations sur les taux d'émission de COVNM par produit solvant et par secteur, a amené plusieurs pays à considérer un FE égal à l'unité, uniforme pour tous les solvants. C'est également l'hypothèse retenue dans le cas présent.

Sources d'information

La consommation apparente de solvants en Tunisie provient des statistiques nationales produites annuellement par l'INS (INS, 2000), et des données, en volume et en valeur, sur le commerce extérieur (import/export) de ces produits.

4.4 Agriculture (Secteur 4)

Les émissions de méthane (CH_4) et d'oxyde nitreux (N_2O) forment l'essentiel des émissions provenant de l'élevage des animaux. Ces émissions sont dues à la fermentation entérique (CH_4) et à la gestion de fumiers (N_2O et CH_4). De plus, du N_2O est libéré par les engrais fertilisant les sols agricoles. Au niveau de l'inventaire national, les émissions et les absorptions de CO_2 par les terres cultivées sont comptabilisées dans le secteur des CATF, dans la catégorie des terres cultivées.

Le total des émissions de GES du secteur agricole en Tunisie a été évalué à 7,64 MTE- CO_2 en 2000, contre 6,02 MTE- CO_2 en 1994, soit une augmentation de 27%. Cette hausse s'explique par l'expansion des élevages surtout de bovins et de volailles, mais aussi par une croissance de la consommation d'engrais azotés.

Emissions de GES du secteur de l'Agriculture exprimées en 1000 TE-CO₂

Catégorie de source GES	Emissions de GESx1000 TE-CO ₂		
	1994	2000	%
Emissions GES Agriculture	6 018,73	7 637,63	
Emissions CH₄ Total	1 997,1	2 646,63	100
Fermentation entérique	1 757,7	2 270,62	85,8
Gestion de fumier	224,7	368,45	13,9
Brûlage de résidus de récolte	14,7	7,56	0,3
Emissions N₂O Total	4 021,63	4 991,0	100
Gestion de fumier	183,52	1 119,1	22,4
Sols agricoles	3 833,46	3 868,8	77,5
Brûlage de résidus de récolte	4,65	3,1	0,1

Les émissions dues au brûlage des résidus de récolte sont insignifiantes, cette pratique devenant davantage contrôlée. De même, les émissions dues à la combustion de combustibles dans les fermes sont comptabilisées dans le secteur de l'énergie.

4.4.1 Fermentation entérique (catégorie 4.A)

La fermentation entérique chez les herbivores engendre de grandes quantités de CH₄. Le CH₄ est l'un des sous-produits les plus importants de la fermentation.

4.4.1.1 Méthodologie

Les émissions de CH₄ provenant de la fermentation entérique des animaux domestiques sont estimées par la méthode de niveau 1 proposée par l'IPCC. Les données statistiques des cheptels sont fournies par le ministère chargé de l'agriculture sous forme de nombre de têtes de bétail, par catégorie de cheptel.

Afin de calculer les émissions de CH₄ pour chaque catégorie d'animaux, on multiplie l'effectif du cheptel par le coefficient d'émission de la catégorie correspondante.

Les démarches de calcul et d'estimation des émissions de GES de l'agriculture se basent sur les données statistiques de l'année 2000 du ministère chargé de l'agriculture, en complément de celles de l'INS (2000).

4.4.1.2 Degré d'incertitude et cohérence des données

Le degré d'incertitude lié aux émissions de CH₄ imputables à la fermentation entérique est déterminé en s'appuyant sur la méthode simple de niveau 1 de l'IPCC (IPCC, 2006). Le degré d'incertitude lié aux cheptels est relativement faible. En effet, la Tunisie dispose d'un dispositif de suivi du cheptel et de statistiques régulières, en milieu urbain et rural. Cette incertitude ne devrait pas dépasser ±3 % pour les volailles, ±5 % pour les moutons et les agneaux, ±5 % pour les bovins laitiers, ±5 % pour les bovins non

laitiers, ± 10 % pour les camélidés et ± 15 % pour les chevaux et les chèvres.

Le degré d'incertitude lié aux coefficients d'émission de niveau 1 de l'IPCC pour les bovins peut être évalué à une moyenne de ± 10 %. Pour les autres catégories de cheptel, les degrés d'incertitude liés aux coefficients d'émission des espèces non bovines peuvent être aussi élevés que ± 20 %. On en déduit un degré d'incertitude au niveau général des estimations d'émissions de CH_4 par fermentation entérique de l'ordre de 11%.

4.4.1.3 AQ/CQ et vérification

La fermentation entérique est une catégorie clé, dont les données doivent être soumises à un contrôle de qualité de niveau 1 de l'IPCC (2006). Les données issues des bulletins du ministère chargé de l'agriculture, et des annuaires statistiques de l'INS (2000), ont été vérifiées méthodiquement. Les coefficients d'émission de niveau 1, donnés par l'IPCC pour l'Europe occidentale ont été appliqués de manière comparative, dans le cas de la Tunisie.

4.4.2 Gestion des fumiers et émissions de CH_4 et N_2O (catégorie 4.B.a et 4.B.b)

L'entreposage et la gestion des déchets animaux (fumier) produisent du CH_4 et du N_2O . La quantité de méthane émise dépend de la quantité de fumier et des techniques de sa manipulation, des propriétés des produits, etc. Sous aération faible, les quantités de CH_4 émises prédominent sur celles de N_2O , alors que dans des conditions d'aération plus forte, c'est surtout le N_2O qui est produit par les systèmes de gestion de fumiers.

Le fumier passe par différentes étapes de nitrification (transformation de NH_4^+ en NO_3^- , puis transformation du nitrate en N_2O). Ainsi, la production de N_2O est conditionnée par le degré d'aération du fumier.

4.4.2.1 Méthodologie

Les émissions de CH_4 imputables à la gestion des fumiers sont estimées à l'aide de la méthode de niveau 1 du l'IPCC (2006). Les coefficients d'émission utilisés sont ceux des cheptels des pays de l'Europe

occidentale et sont considérés comme applicables au cas de la Tunisie.

Pour estimer les émissions de N_2O imputables à la gestion des fumiers, la méthode de niveau 1 de l'IPCC a permis de calculer les émissions par catégorie animale. L'effectif du cheptel est alors multiplié par le taux moyen d'excrétion d'azote de chaque catégorie et par la fraction d'azote disponible selon le type de système de gestion des fumiers. Les mêmes données de cheptel servant aux calculs de CH_4 ont été utilisées pour les estimations de N_2O . Les coefficients d'émission des fumiers de l'Europe de l'Est ont été appliqués sur la base que la gestion de fumier est présumée s'effectuer dans des conditions similaires.

4.4.2.2 Degré d'incertitude et cohérence des données

Le degré d'incertitude lié aux émissions de CH_4 dues à la gestion des fumiers est estimé à l'aide d'une méthode simple additionnant les incertitudes sur les données d'activités et sur les FE utilisés. L'incertitude sur les quantités de fumier est relativement grande, de l'ordre de ± 25 %. Celle sur les coefficients d'émission appliqués à la gestion de fumier dans les pays de l'Europe de l'Est est relativement élevée (± 15 %). Ceci conduit à une erreur globale estimée pour les émissions de l'ordre de ± 30 %.

Le degré d'incertitude sur les calculs des émissions de N_2O est influencé par les incertitudes sur les données de cheptels et leurs fumiers (estimées à ± 25 %), et par l'incertitude sur les coefficients d'émission de N_2O dépendant de l'aération dans les systèmes de gestion des fumiers (± 20 %). Ainsi, une approximation simple permet de situer le degré d'incertitude sur les émissions de N_2O à ± 32 %.

4.4.2.3 Contrôle AQ/CQ et vérification des données

Les émissions de CH_4 et de N_2O dues à la gestion des fumiers ont fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 1, conformes aux recommandations de l'IPCC (2006). Les données sur les activités utilisées ont été vérifiées selon les données de l'Annuaire Statistique de l'an 2000 (INS, 2000) et selon les bulletins de

statistiques publiés par le ministère chargé de l'agriculture. Aucun problème majeur n'a été relevé au cours de ces vérifications.

4.4.3 Émissions de N₂O des sols agricoles (catégorie 4.D)

Il s'agit des émissions directes et indirectes de N₂O des engrais dans les sols et des émissions de ce gaz émanant du fumier dans les pâturages, les grands parcours et les enclos. De toutes ces sources, ce sont les engrais minéraux azotés qui prédominent en matière d'émissions.

Par leur contenu en azote, les engrais minéraux synthétiques sont la source d'émanations importantes d'azote dans les sols. L'azote subit des phénomènes de nitrification et de dénitrification qui produisent des émissions de N₂O. La rétention de l'azote dans les sols dépend du mode cultural appliqué.

L'épandage du fumier animal à des fins d'engrais dans les sols peut aussi contribuer, suite à des phénomènes de nitrification et de dénitrification, à des émissions de N₂O dans les sols agricoles. Les fumiers de pâturage sont aussi comptabilisés dans cette catégorie.

4.4.3.1 Méthodologie

Les émissions de N₂O dues à l'utilisation des engrais synthétiques sont estimées selon une méthode de niveau 1 de l'IPCC (2006). Les données sur les engrais utilisés en 2000, proviennent des bulletins du ministère chargé de l'agriculture. De plus, un coefficient pondéré d'émission de 0,0125 Kg N₂O émis par kilogramme d'azote dans les engrais utilisés, a été appliqué de manière identique aux engrais synthétiques et aux épandages de fumier.

4.4.3.2 Degré d'incertitude et cohérence des données

Les incertitudes sur les estimations des émissions de N₂O issus des engrais minéraux azotés proviennent des incertitudes sur les quantités d'engrais azotés vendus en 2000, qui sont de l'ordre de ±25%. Le degré d'incertitude sur les facteurs d'émission est au moins du même ordre de grandeur. Pour les épandages de fumier sur les sols, les incertitudes sur les données d'activités et sur les coefficients d'émission sont sûrement plus grandes, estimées à au moins ± 50%.

L'incertitude sur les émissions de N₂O peut ainsi être évaluée par une méthode simple, à ±35% pour les engrais synthétiques et à ±70% pour l'usage de fumier.

4.4.3.3 Contrôle AQ/CQ et vérification

Cette catégorie a fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 1, comme recommandé par l'IPCC. Les données d'activités selon les tables statistiques, et la cohérence des méthodologies de calculs des émissions ont été vérifiées. Aucun problème majeur n'a été rencontré au cours de ces contrôles.

4.4.4 Brûlage des résidus de récolte (catégorie 4.D.4)

Après la récolte, une partie des résidus végétaux est brûlée afin de préparer la saison suivante. Ces résidus de matière végétale brûlés sont une source d'émission de N₂O et de CH₄. Le brûlage des résidus agricoles est une pratique très contrôlée en Tunisie, pour ses conséquences parfois néfastes sur l'environnement.

4.4.4.1 Méthodologie

Les émissions de CH₄ et N₂O par brûlage de résidus de récolte ont été estimées selon une méthode de niveau 1. Le brûlage étant une pratique en déclin, en Tunisie, une estimation de 10% de résidus agricoles brûlés sur site annuellement, a été retenue. Les récoltes, notamment de céréales, sont données dans les tables statistiques du ministère chargé de l'agriculture et dans les annuaires statistiques de l'INS (INS, 2000). Les coefficients d'émission des résidus sont déterminés par pondération, en fonction de leur teneur en azote, et de la fraction oxydée (90%).

4.4.4.2 Degré d'incertitude et cohérence des données

Les degrés d'incertitude sur les émissions de CH₄ et N₂O liées au brûlage des résidus de récolte découlent des incertitudes quant aux estimations de leur contenu en azote, l'incertitude sur les quantités brûlées, mais aussi les indéterminations sur les coefficients d'émission calculés. Dans ces conditions, le degré d'incertitude sur les émissions déterminées peut atteindre ±100%.

4.4.4.3 Contrôle AQ/CQ

Cette catégorie a fait l'objet de contrôles de qualité de niveau 1, en respect des recommandations de l'IPCC (2006). Les données sur les activités et les méthodologies utilisées ont été vérifiées. Aucun problème majeur n'est survenu au cours de ce contrôle.

4.5 Changement d'affectation des terres et forêts (secteur 5)

La forêt et les changements d'affectation des terres (CATF) influent directement sur le bilan émission/absorption du CO₂. Les incendies de forêt étant négligeables en Tunisie et en l'absence de toute combustion de la biomasse sur site, le CO₂ demeure pratiquement le seul gaz à être concerné par ce secteur.

Emissions de CO₂ dues aux CATF en 2000

en 1000 tonnes	
Total émissions de CO₂	3 542,99
Utilisation énergétique du bois	3438
Autres utilisation du bois (bois d'œuvre, bois industrie, etc.)	105

Néanmoins, l'estimation des stocks de carbone et d'émission/absorption de GES liées aux activités du secteur des CATF, demeure complexe et nécessite une collecte de données nombreuses et méthodologiquement variées (recensements annuels, télédétection, inventaires forestiers, enquêtes de

terrain, etc.) afin de minimiser les incertitudes et ainsi répondre aux directives de bonnes pratiques de l'IPCC. Le tableau qui suit présente les résultats des estimations des émissions de CO₂ en 2000 liées à l'utilisation et aux changements d'affectation des terres et des forêts (CATF).

Emissions/absorptions de CO₂ dues aux CATF en 1994 et 2000

	1000 TE-CO ₂	
	1994	2000
Total émissions de CO₂	3 730,8	3 542,99
Utilisation énergétique du bois	3 500,9	3 438
Autres utilisation du bois (bois d'œuvre, bois industrie, etc.)	185,9	105
Chaulage des sols alcalins	44,0	-
Total absorptions CO₂	-5 503,5	-5 685
Formations forestières + maquis et garrigues	- 811,6	- 898
Oliveraies	- 4 319,1	-4 330
Plantations arboricoles	- 365,1	- 365
Plantations urbaines (arbres en ville) et routières	-7,7	- 92
BILAN TOTAL	- 1772,7	-2 142

Les émissions de CO₂ sont estimées à 3,543 millions de tonnes, dues, en grande partie, à l'utilisation énergétique du bois avec 3,438 millions de tonnes, soit 97% du total. Les quantités de CO₂ émises en 2000 sont inférieures à celles de 1994 (3,730 millions de tonnes). Ceci peut être expliqué par la non-comptabilisation du chaulage qui n'est pas une pratique systématique en Tunisie, et du brûlage des déchets de la taille des oliveraies.

En premier bilan, le secteur des changements d'affectation des terres et forêts (CATF) est une source nette d'absorption de CO₂ en Tunisie, avec une quantité de 2,142 millions de tonnes en 2000 contre 1,77 millions en 1994. Les quantités de CO₂ absorbées par les différents systèmes végétaux ont atteint 5,685 millions de tonnes en 2000, essentiellement, par les oliveraies et les formations forestières qui contribuent respectivement pour 76% et 16% du total. Ces absorptions ont connu une augmentation de 182 000 tonnes de CO₂ par rapport à celles de 1994. Cette augmentation est due en majeure partie aux nouvelles plantations forestières et urbaines.

4.5.1 Méthodologie

L'inventaire des émissions de GES dues à aux CATF a respecté la méthodologie de niveau 3 préconisée par l'IPCC, et a tenu compte du détail de l'occupation des sols en Tunisie.

Sur la base des études faites et de la carte agricole réalisée sur tout le territoire, l'impact des changements de vocation des terres a été minime sur la période 1980-2000. Par conséquent, il n'apparaît pas dans le bilan national des émissions de GES. En effet, si l'on regarde l'évolution des superficies emblavées en céréales par exemple, on constate une légère différence : la moyenne pour le IX^{ème} plan de développement a été de 1 389 000 ha en grandes cultures, alors qu'en 2000/2001, elle a atteint 1 261 000 ha et en 2001/2002 1 160 000 ha. Cette différence en superficie emblavée n'est pas due au changement d'affectation des terres mais plutôt à un déficit de pluviométrie ; de plus, les sols ont été réutilisés pour des grandes cultures dès que le climat l'a permis. Ainsi, depuis plus de 20 ans, la superficie des terres agricoles est restée quasiment

la même (4 800 000 ha en 1995, et environ 5 000 000 ha en 2000). Seule la superficie forestière a augmenté sensiblement, avec 300 000 ha de nouvelles plantations sur une décennie.

Les oliveraies comptent plus de 16 millions d'arbres avec un accroissement annuel en biomasse très important. Ces plantations peuvent être assimilées et classées dans la catégorie de « forêt » puisqu'elles répondent à la définition de l'IPCC en la matière. Cependant, il a été décidé de faire des plantations d'oliveraies un système de gestion à part, et de ne pas les inclure dans la catégorie de forêts.

Pour les calculs d'émissions, des hypothèses ont été adoptées pour pouvoir approcher de manière adéquate les données d'activités et les FE par module concerné dans ce secteur.

Les données sur la consommation de biomasse-énergie sont fournies par les statistiques du ministère chargé de l'agriculture, et par un calcul d'interpolation des évolutions respectives de la population, selon le milieu, et par région.

La base de données intéressant la carte agricole de la Tunisie fournit des indications précises sur l'occupation des sols, leurs changements d'affectation, leur dynamique et sur l'extension de la forêt et des espaces impartis à l'arboriculture.

4.5.2 Degré d'incertitude et cohérence des données

Les données utilisées reposent en partie sur les résultats du premier inventaire forestier et pastoral de la Tunisie, qui a été entamé en 1989 et achevé fin 1994. Cet inventaire avait pour objectifs :

- de réaliser l'inventaire par échantillonnage statistique des ressources forestières et pastorales du pays sur 12 millions d'ha (la partie désertique n'a pas été prise en compte);
- d'effectuer la cartographie des formations forestières et pastorales, en déterminant leurs superficies, la biomasse forestière et la matière sèche des espèces pastorales ;
- de créer un Système d'Information Forestière et Pastorale (SIFOP) permettant le stockage, le traitement et la mise à jour des données.

Compte tenu des données statistiques publiées par le

ministère chargé de l'agriculture et du programme de la carte agricole de la Tunisie, les degrés d'incertitude sur les données d'activités, utilisées par catégorie dans ce secteur, sont relativement limités. Ainsi, il a été estimé qu'ils ne devraient pas dépasser, dans le cas le plus défavorable, une fourchette de $\pm 10\%$. Pour les facteurs d'émission, le degré d'incertitude peut varier de ± 5 à $\pm 10\%$. Une méthode simple conforme aux recommandations de l'IPCC (2006), permet de situer le degré d'incertitude sur les résultats des Emissions/Absorptions de CO_2 de $\pm 11\%$ à $\pm 15\%$.

4.5.3 AQ/CQ et vérification

Le secteur des changements d'affectation des terres et forêts (CATF) est un secteur dont les données doivent être soumises à un contrôle de qualité de niveau 3, de manière conforme au guide de bonnes pratiques de l'IPCC (2006). Les données sont issues des bulletins du ministère chargé de l'agriculture et de la base de données de la carte agricole de la Tunisie. Ces dernières ainsi que les coefficients d'émission correspondants ont été vérifiés méthodiquement. Aucun problème majeur n'a été rencontré au cours de cette vérification, en dehors d'un manque relatif de précision sur le chaulage des terres qui nécessite des études et des relevés plus précis à l'avenir.

4.6 Déchets (secteur 6)

4.6.1 Aperçu

Sont attribuables à ce secteur les quantités de GES provenant de l'élimination des déchets solides municipaux et du traitement des eaux usées. L'enfouissement des déchets et le traitement des eaux usées produisent du CO_2 , alors que les résidus de protéines des matières fécales humaines peuvent former du CO_2 . Les émissions de CO_2 dues aux déchets de bois et de produits ligneux ne doivent pas être comprises dans ce bilan car elles sont comptabilisées dans le secteur des CATF, au moment de l'abattage des arbres. En outre, les émissions de CH_4 attribuables à une décomposition anaérobie possible de tous les déchets sont comprises dans l'inventaire global de ce secteur.

Les déchets solides

Le PRONAGDES (Programme National de Gestion des Déchets Solides) a été lancé en 1995 par le ministère chargé de l'environnement, en vue de faire face aux nuisances générées par les déchets solides et d'en améliorer la gestion. Il concerne la production, la collecte, le transport, le tri, la valorisation, l'élimination et le traitement de ces déchets.

En l'an 2000, cinq décharges contrôlées de déchets ménagers étaient fonctionnelles.

Les eaux usées domestiques

En l'an 2000, la population urbaine tunisienne représentait 62,9 % de la population estimée à 9 607 050 habitants. La situation du raccordement de la population urbaine au réseau d'assainissement de l'ONAS se résume comme suit:

- 73 % de la population urbaine est raccordée au réseau de l'ONAS :

- dont 90 % est prise en charge pour le traitement des eaux usées par 60 stations d'épuration opérationnelles ;
- alors que 10 % n'est pas prise en charge pour le traitement des eaux usées.

- 27% de la population urbaine n'est pas raccordée au réseau de l'ONAS et utilise des fosses septiques et des latrines.

La population rurale restante (correspondant à 37,1 % du total national) utilise des fosses septiques et des latrines.

Les eaux usées industrielles

Une norme nationale définit les qualités des eaux usées (industrielles) pouvant être raccordées au réseau national de l'ONAS. Les entreprises effectuent souvent un traitement primaire de leurs eaux usées industrielles avant qu'elles ne soient évacuées dans le réseau de l'ONAS. Les eaux usées industrielles non raccordées au réseau de l'ONAS sont, selon le cas, soit traitées au sein de l'entreprise, soit rejetées dans le milieu naturel sans aucun traitement.

En 2000, les rejets d'eaux usées industrielles se présentent comme suit : 100% des eaux industrielles raccordées subissent un traitement physico-chimique au sein de l'entreprise avant leur raccordement au réseau de l'ONAS ; pour les eaux non raccordées, 70% sont soumises à un traitement physico-chimique alors que les 30% restantes sont traitées par des procédés biologiques.

Production d'eaux usées industrielles en 2000

Type d'industrie	Raccordées au réseau ONAS	Non raccordées au réseau ONAS	Total	%
	m ³ /an	m ³ /an	m ³ /an	
Industrie alimentaire	6 076 250	10 087 140	16 163 390	20,3%
Industrie du cuir et de la chaussure	385 075	767 595	1 152 670	1,4%
Industrie chimique	601 958	4 776 901	5 378 859	6,7%
Industrie électrique	340 655	178 485	519 140	0,7%
Industrie mécanique et métallurgie	723 430	516 001	1 239 431	1,6%
Industrie textile et habillement	7 216 962	1 647 610	8 864 572	11,1%
Industries diverses	2 448 785	44 046 010	46 494 795	58,3%
TOTAL	17 793 115	62 019 742	79 812 857	100,0%

Dans l'inventaire national, les émissions de GES du secteur des déchets sont estimées à 1,88 MTE-CO₂, contre seulement 1,03 MTE-CO₂ en 1994, soit une hausse de 83%. Par comparaison, les émissions

totales de la Tunisie ont augmenté de 27% durant la même période. Les émissions du secteur des déchets totalisent respectivement 3,6 % et 5,0% des émissions globales de GES en 1994 et en 2000.

Emissions de GES des déchets solides et eaux usées de l'an 2000

	CH ₄ (1000 tonnes)	N ₂ O (1000 tonnes)	Total en 1000 TE-CO ₂	%
Total des émissions	78,12	0,78	1 882,3	100
Décharges d'ordures	62,8		1 318,8	70,06
Traitement des eaux usées domestiques	6,22		130,62	6,94
Traitement des eaux usées industrielles	9,10		191,1	10,1
Déchets humains (matières fécales)		0,78	241,8	12,9

Le sous-secteur de l'enfouissement, dans des décharges, des déchets solides municipaux (DSM), a produit 1,32 MTE-CO₂, représentant 70%, des émissions de ce secteur. Le CH₄ demeure le principal gaz émis. Pour calculer les émissions nettes, il est nécessaire de soustraire le volume de CH₄ oxydé ou éventuellement capté du volume total estimé de CH₄. En dépit de l'existence de décharges contrôlées, la majorité du CH₄ émis par les décharges en Tunisie est dissipée dans l'atmosphère.

L'augmentation de la production de CH₄ dans les décharges est fonction de la croissance démographique et du taux de production des déchets. Elle peut cependant être atténuée par un captage de ce gaz.

A l'échelle nationale, plus de 1,7 millions de tonnes de déchets non dangereux (municipaux, ménagers, commerciaux, etc.) ont été produits en l'an 2000.

4.6.2 Enfouissement des déchets solides dans le sol (catégorie 6.A)

Les décharges de DSM sont de deux types en Tunisie :

- les décharges municipales non aménagées (dont 40% sont de plus de 5m de profondeur, et 60% à moins de 5m de profondeur), et
- les décharges contrôlées.

En 2000, une grande partie des déchets solides municipaux était encore enfouie dans des décharges municipales non aménagées. Cependant, suite au PRONAGDES, 5 décharges contrôlées ont été aménagées.

La composition globale et la quantité de déchets enfouis en Tunisie changent d'année en année en raison de la croissance démographique et l'amélioration du niveau de vie.

4.6.2.1 Méthodologie

La méthode par défaut de niveau 1 des lignes directrices de l'IPCC a été utilisée.

Les données d'activités concernant les DSM ont été calculées à partir des résultats du recensement statistique de la population en 2004, et des résultats d'une étude réalisée par l'ANGED (2005), portant sur l'élaboration d'un plan directeur pour la valorisation des déchets organiques par compostage.

Cette étude a permis de calculer les productions de déchets municipaux pour l'ensemble du pays pour l'année 2004.

4.6.2.2 Gaz d'enfouissement

Jusqu'à l'année 2000, ces gaz n'étaient pas récupérés en Tunisie.

a• Degré d'incertitude et cohérence des résultats

La méthode d'estimation utilisée est celle de niveau 1. L'erreur de l'estimation provient des incertitudes sur l'évaluation des quantités totales de DSM, et sur les quantités distribuées par type de décharge. Une incertitude assez significative est aussi introduite au niveau de la détermination quantitative des composants biodégradables dans les DSM ($\pm 5\%$ au moins) et par les facteurs par défauts de l'IPCC. Il a été estimé que l'incertitude totale ne devrait pas excéder $\pm 25\%$, et qu'un calcul plus précis nécessite une détermination plus fine des facteurs utilisés et des quantités et des variations des compositions possibles des DSM en Tunisie.

b- AQ/CQ, vérification et recalcul

Afin de s'assurer de la validité des résultats, un contrôle de qualité de niveau 1 a été effectué et n'a pas révélé d'anomalies ou d'erreurs significatives à corriger, en dehors du fait que les quantités totales de DSM rapportées pour 1994 ont été révisées à la hausse.

Un nouveau calcul amènerait à augmenter la production du méthane issu des DSM mis en décharge, de près de 35% par rapport aux valeurs citées en 1994.

4.6.3 Traitement des eaux usées (catégorie 6.B)

Il s'agit ici d'estimer les émissions issues du traitement des eaux usées municipales et industrielles. En Tunisie, le traitement des eaux usées municipales est du ressort de l'ONAS. Les eaux usées industrielles sont traitées dans les stations d'épuration de l'ONAS, soit dans les stations d'épuration propres aux usines polluantes, en fonction de leur charge polluante.

Les principaux procédés de traitement des eaux usées sont :

- le traitement physico-chimique ;
 - le traitement biologique, en aérobie ou en anaérobie.
- C'est surtout le traitement anaérobie qui produit du CH₄.

a• Méthodologie

Traitement des eaux résiduaires urbaines

Les données d'activités retenues sont :

- la population totale en 2000 : 9 607 050 (INS),
- la population urbaine (62,9% de la population totale) raccordée à l'ONAS (73%), dont les eaux usées sont traitées (90%),
- la population urbaine raccordée (73%), dont les eaux usées ne sont pas traitées (10%),
- la population urbaine non raccordée à un réseau de collecte (27%),
- la population rurale, non raccordée à un réseau de collecte (37,1%),

Ces données permettent d'évaluer les quantités totales d'eaux usées urbaines collectées et non traitées, mais aussi les quantités d'eaux usées qui émanent de la population urbaine non raccordée. De manière similaire, et compte tenu du ratio annuel d'eau collectée par personne, sont évaluées les quantités d'eau usées produites dans le milieu rural. Pour le calcul des émissions de CH₄, La méthode par défaut de niveau 1 des lignes directrices de l'IPCC a été utilisée.

• Traitement des boues

Les données d'activités pour le traitement des eaux usées municipales par l'ONAS sont consignées dans un rapport détaillé concernant les 60 stations d'épuration en exploitation dans le pays. La majorité de ces stations utilisent des procédés de traitement aérobie, et produisent donc peu de CH₄.

Les quantités de DBO₅ par type de boues traitées selon le procédé considéré anaérobie sont, en termes de proportions, les suivantes :

- traitement de boue activée moyenne charge (43,7%),
- lit bactérien (11,2%),
- lagunage naturel (18,23%),
- lagunage aéré (26,9%).

La quantité totale de DBO₅ traitée dans des conditions anaérobie a été évaluée à 27,1 millions de kg pour 2000, correspondant à 36,2% du total des boues traitées dans les stations d'épuration exploitées.

Un FE pondéré, compte tenu d'un facteur de correction du méthane FCM, a été considéré pour chaque procédé de traitement, source de boues :

- boue activée moyenne charge (0,15),
- lit bactérien (0,15),
- lagunage naturel (0,5),
- lagunage aéré (0,3).

• **Traitement des eaux usées industrielles (catégorie 6.B)**

Les eaux usées industrielles sont réparties en deux catégories : les eaux usées industrielles ayant subi un traitement primaire et raccordées au réseau de l'ONAS et celles ayant subi un traitement secondaire, et rejetées dans le milieu naturel.

Les procédés de traitement sont majoritairement le procédé physico-chimique (61 207 204 m³/an ; 77%) et le procédé biologique (18 605 922 ; 23%)

b- Degré d'incertitude et cohérence des résultats

L'incertitude sur les estimations d'émissions de GES des catégories de ce secteur provient des incertitudes sur les procédures analytiques de détermination de la DBO5 ou la DCO, sur les débits d'eaux collectées qui, en Tunisie, sont bien documentés par les services de l'ONAS. Elles proviennent également des erreurs sur les méthodes de détermination des facteurs de correction de méthane en fonction du procédé de traitement utilisé.

Il a été estimé que l'incertitude globale sur les valeurs déterminées pour les émissions dues aux eaux usées et boues résiduaires peuvent atteindre ± 30 % et nécessitent ainsi, à l'avenir, un suivi et une analyse de l'incertitude pour mieux en cerner les variations annuelles.

c- AQ/CQ, vérification et recalcul

Une procédure de contrôle de qualité de niveau 1 pour ce sous-secteur a permis de réviser les valeurs estimées pour l'année 1994 (qui n'ont pas tenu compte des quantités d'eau usées urbaines collectées mais non traitées, et des quantités d'eaux usées industrielles).



03

Efforts de la Tunisie pour contribuer à
l'atténuation du changement climatique

1. INTRODUCTION

Conformément à l'article 12 de la CCNUCC, la Tunisie, en tant que Partie non-Annexe I, doit communiquer des informations sur ses programmes visant à lutter contre les changements climatiques, soit qu'ils permettent la réduction ou l'évitement des émissions de GES (atténuation) soit qu'ils augmentent le stockage du carbone (séquestration).

Ce chapitre présente les politiques et programmes mis en place, en cours d'exécution ou programmés par la Tunisie qui contribuent à l'atténuation des GES. Ainsi seront tour à tour examinés les efforts déployés dans les secteurs de l'énergie, des procédés industriels, de l'agriculture, de l'utilisation des terres et du changement d'affectation des sols, des forêts et des déchets.

Les émissions de GES ont été projetées aux horizons 2010, 2016 et 2030 pour le secteur de l'énergie et aux horizons 2010 et 2020 pour les autres secteurs, en prenant en considération les hypothèses appliquées à un scénario de référence et un scénario d'atténuation.

2. APERÇU SUR LA STRATÉGIE NATIONALE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Suite à la ratification de la CCNUCC en juillet 1993, la Tunisie a œuvré pour un développement durable, qui posait comme préalable, l'adéquation entre le développement économique et social d'une part et la protection de l'environnement d'autre part. Dès 1996, la Tunisie disposait d'un programme d'action national pour l'environnement et le développement (Agenda 21 national) intégré en partie dans le IX^{ème} plan de développement économique et social (1997 – 2001). Cette intégration de la dimension environnementale dans l'ensemble des activités de développement du pays s'est poursuivie dans les plans de développement suivants et s'est élargie aussi bien à l'ensemble des secteurs économiques que du territoire (maîtrise de l'énergie, mise à niveau environnementale des entreprises, conservation des eaux et des sols, assainissement, gestion des déchets solides et

liquides, boisement et reboisement, création d'espaces verts dans les villes, etc.).

En juin 2002, la Tunisie adhère au Protocole de Kyoto, la rendant ainsi éligible au Mécanisme de Développement Propre.

Au niveau institutionnel, la Commission Nationale pour le Développement durable (CNDD), créée en 1993, constitue le cadre d'orientation et de coordination des actions de développement. Le ministère chargé de l'Environnement (ME), en collaboration avec les autres ministères, institutions et organismes concernés, œuvre à l'application des politiques et stratégies décidées.

3. ATTENUATION DES ÉMISSIONS DE GES DANS LE SECTEUR DE L'ÉNERGIE

La Tunisie est l'un des premiers pays en développement ayant adopté une politique volontariste de maîtrise de l'énergie dès le milieu des années 1980. Depuis 2005, d'importantes mesures ont renforcé cette politique avec l'adoption d'une nouvelle loi sur la maîtrise de l'énergie et la création d'un Fonds National de Maîtrise de l'Énergie (FNME).

Cette politique active, caractérisée par un changement d'échelle dans l'amélioration de l'efficacité énergétique et le développement des énergies renouvelables et alternatives, a eu des effets indéniables sur la décélération du taux de croissance des émissions de GES dues à la consommation d'énergie, le découplage entre la croissance économique et les émissions de GES dues à l'énergie et la réduction substantielle de l'intensité carbone.

3.1. Evolution des émissions dues au secteur de l'énergie

Dans les émissions de GES dues à l'énergie, deux sources peuvent être distinguées : la combustion énergétique et les émissions fugitives.

Entre 1990 et 2009, les émissions totales sont passées de 15,4 MTE-CO₂ à environ 29 MTE-CO₂, soit un taux de croissance annuel moyen de 3,2% par an, qui reste

cependant inférieur au taux de croissance du PIB qui s'est établie à 4,6% par an sur la même période.

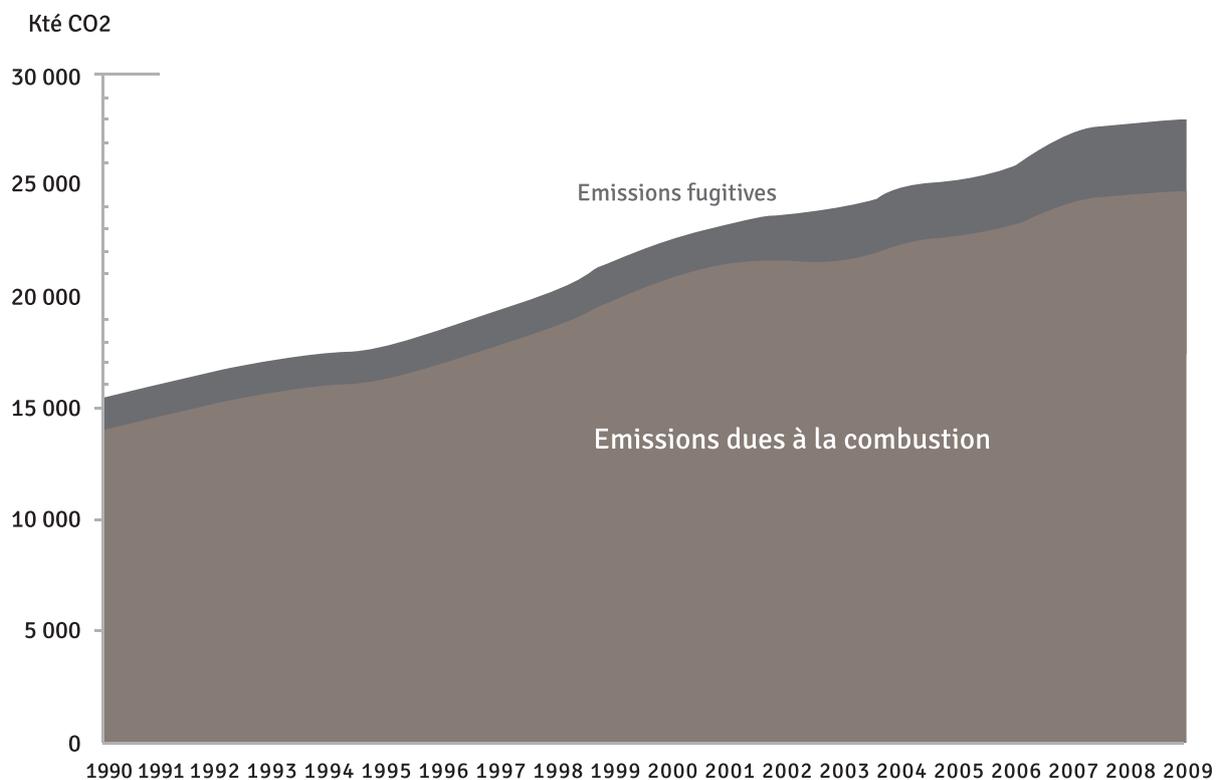
La dernière décennie a été marquée par un découplage net entre les émissions de GES et la croissance économique.

Sur la période 1990-2009, la part des émissions fugitives est passée de 8,9% à 11,4% des émissions totales dues à l'énergie. Les émissions fugitives

proviennent de la production et du transport du pétrole et du gaz naturel.

Sur la même période, la part de la combustion énergétique est passée de 91,1% à 88,6%. Les émissions de la combustion énergétique proviennent des secteurs de l'industrie énergétique, le transport, l'industrie manufacturière, les bâtiments et l'agriculture.

Evolution des émissions de GES dues à l'énergie en 1000 tonnes équivalent CO₂ (KTE-CO₂) entre 1990 et 2009

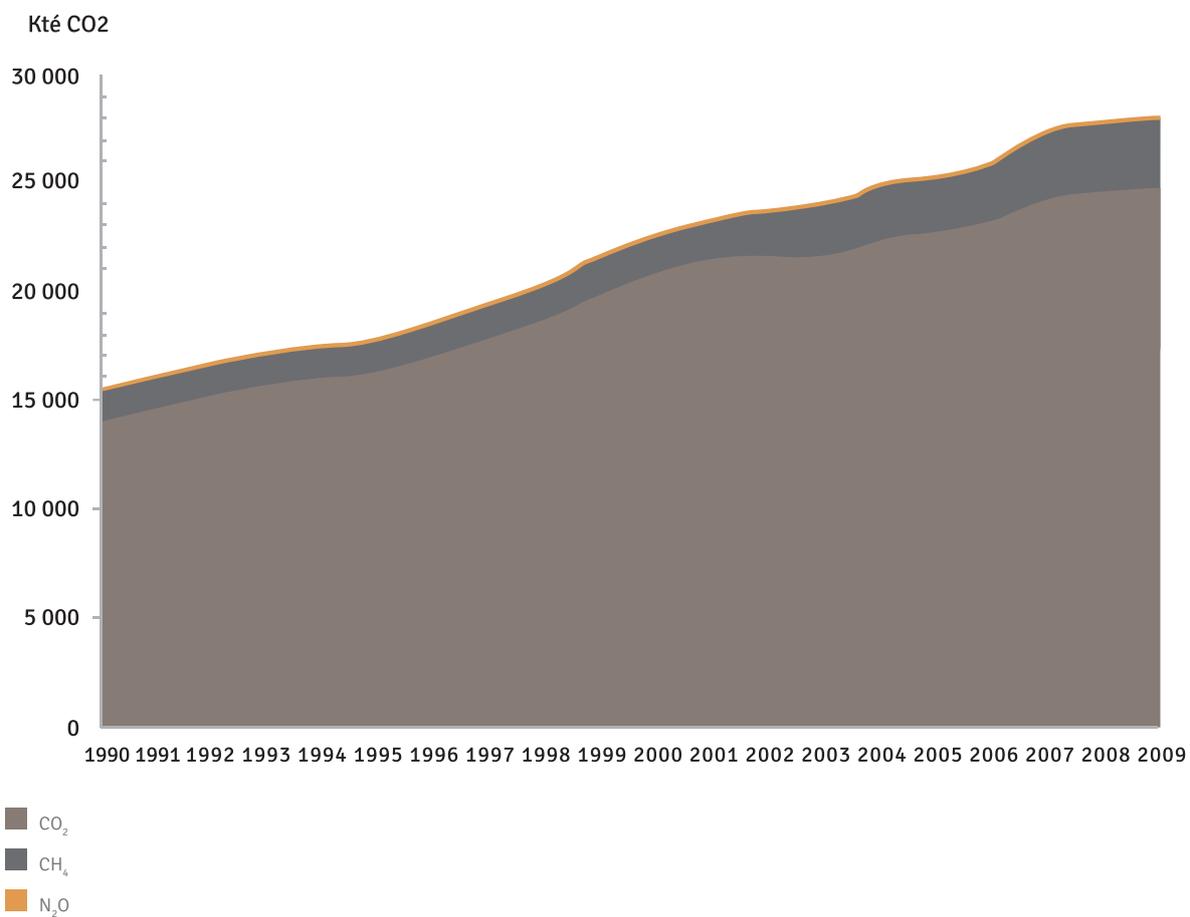


(Source : ANME)

Par type de gaz, le CO₂ est le gaz le plus important émis par le secteur de l'énergie. En effet, sa part représente plus de 91% des émissions totales, contre 8% pour le CH₄ et moins de 1% pour le N₂O. Les émissions de CO₂ proviennent principalement de l'industrie énergétique, des transports et de l'industrie

manufacturière. Les émissions de CH₄ sont dues aux émissions fugitives émanant de la production du pétrole et du gaz naturel.

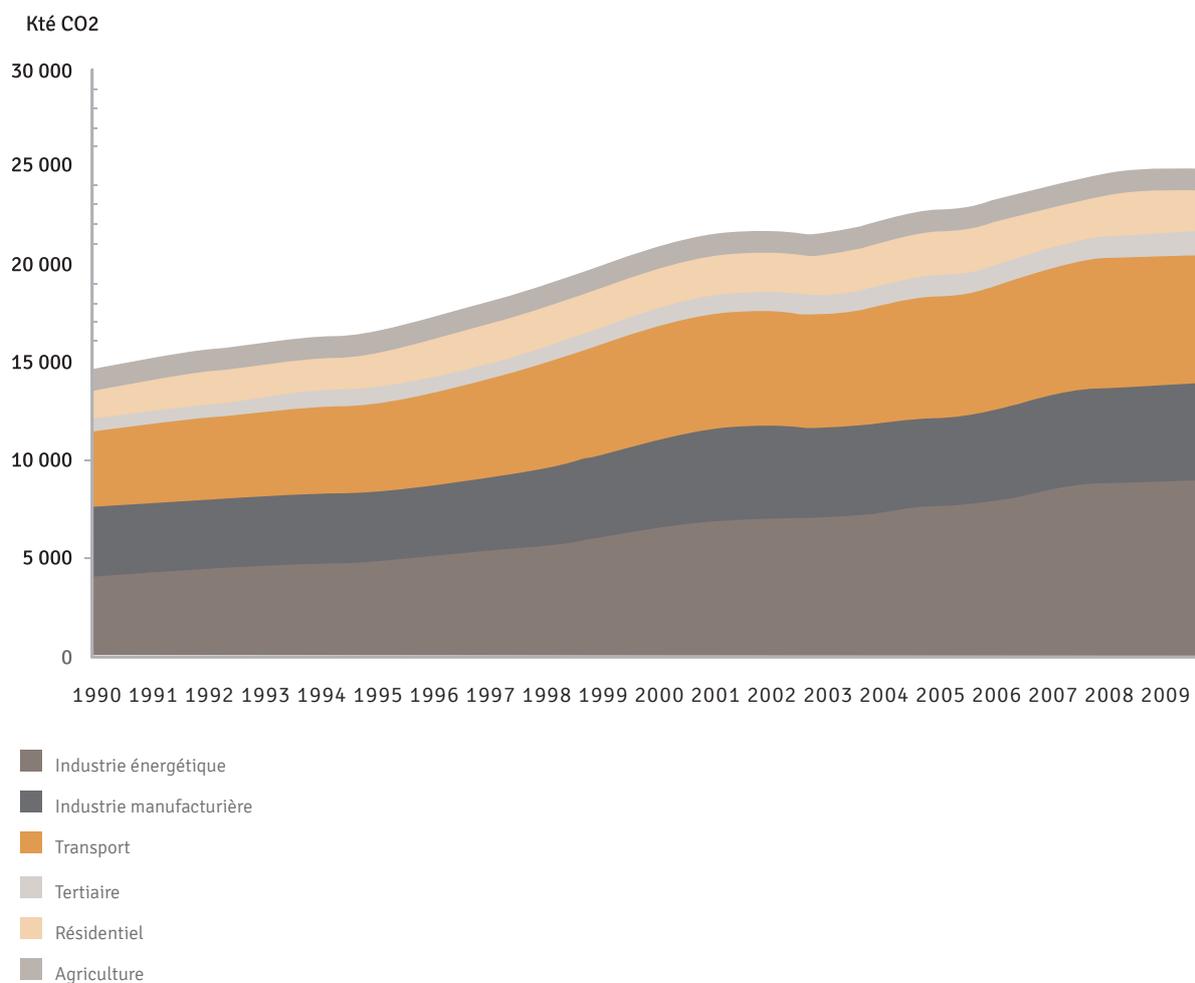
Evolution des émissions de GES dues à l'énergie en 1000 tonnes équivalent CO₂ (KTE-CO₂) et par type de gaz entre 1990 et 2009



(Source : ANME)

Par secteur d'activité, l'industrie énergétique représente le secteur le plus important avec 37% des émissions, suivie par le transport (28%), l'industrie manufacturière (20%), le bâtiment (13%) et l'agriculture (4%).

Evolution des émissions de GES dues à la combustion par secteur, en 1000 tonnes équivalent CO₂ (KtE-CO₂), entre 1990 et 2009

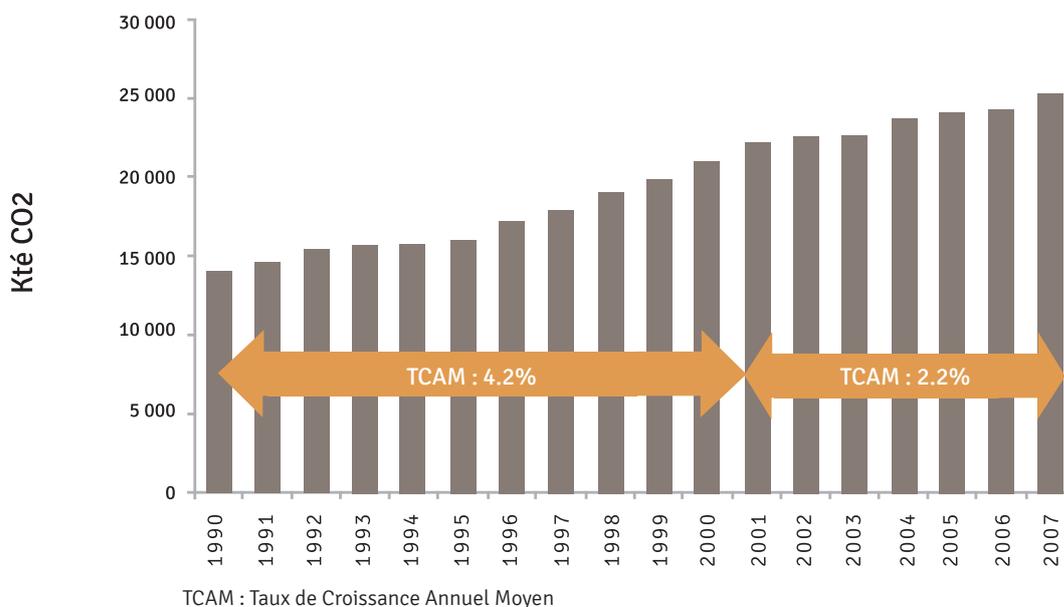


(Source : ANME)

3.2. Décélération du taux de croissance des émissions de GES dues à la consommation d'énergie

Entre 1990 et 2001, le taux de croissance annuel moyen (TCAM) des émissions de GES dues à la consommation d'énergie était de 4,2% et est passé à 2,2% entre 2001 et 2007.

Evolution des émissions de GES dues à l'énergie exprimée en 1000 tonnes équivalent CO₂



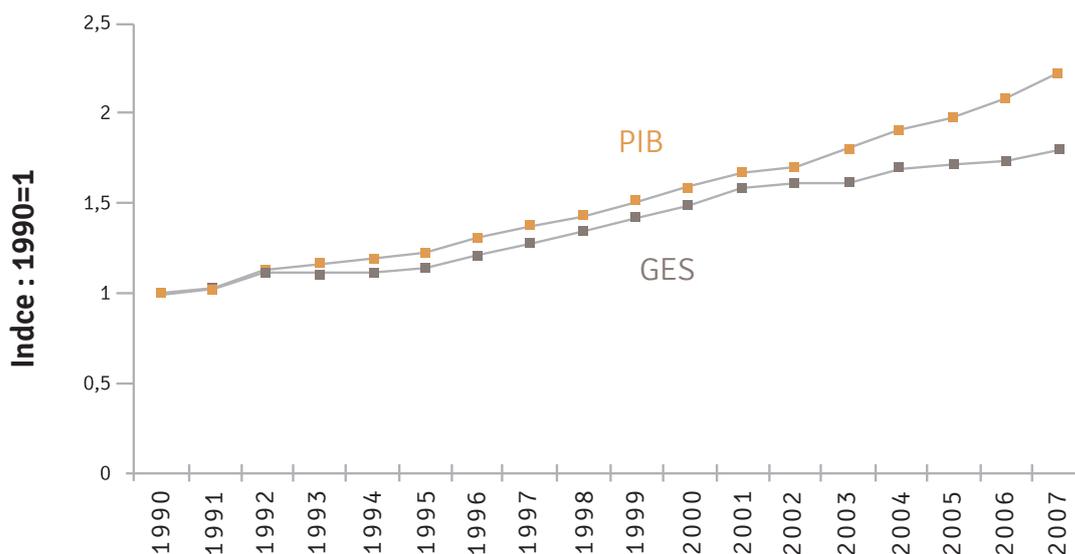
(Source : ANME)

3.3. Découplage entre la croissance économique et les émissions de GES dues à l'énergie

Entre 1990 et 2001, le taux de croissance du PIB, en Tunisie, a évolué de 4,76% par an et celui des émissions de GES de 4,2% par an.

Par contre, entre 2001 et 2007, le taux de croissance du PIB a continué à croître au même rythme (soit 4,74% par an) alors que celui des émissions de GES a baissé, passant à 2,2%, comme le montre le graphique suivant :

Evolution de la croissance économique et des émissions de GES dues à l'énergie



(Source : ANME)

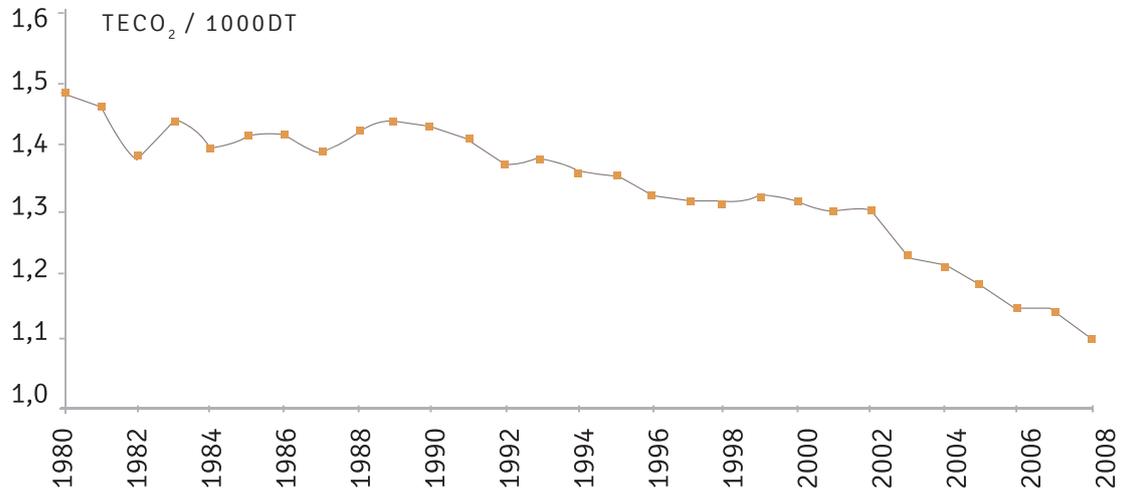
3.4. Réduction substantielle de l'intensité carbone

Rapportées par unité de PIB (1000 Dinars Tunisiens : DT), les émissions de GES en Tonnes équivalent CO₂ (TE-CO₂) sont passées de 1,482 TE-CO₂ / 1000 DT en 1980 à 1,105 TE-CO₂ / 1000 DT en 2008, soit une baisse moyenne de 1% par an sur la période 1980-2008. Cette baisse s'est accélérée à partir de 2000, passant à 2,1% par an, en moyenne.

La baisse de l'intensité carbone du secteur énergétique résulte de la conjonction de quatre facteurs concomitants :

- L'orientation de l'économie tunisienne vers les secteurs non énergivores ;
- L'amélioration de l'efficacité énergétique, principalement dans l'industrie manufacturière ;
- Le développement de l'utilisation du gaz naturel ;
- Le recours au cycle combiné pour la production d'électricité.

Evolution de l'intensité carbone



(Source : ANME)

3.5. Evolution des émissions de GES dues à l'énergie sans programme de maîtrise de l'énergie (scénario de référence) et avec programme de maîtrise de l'énergie

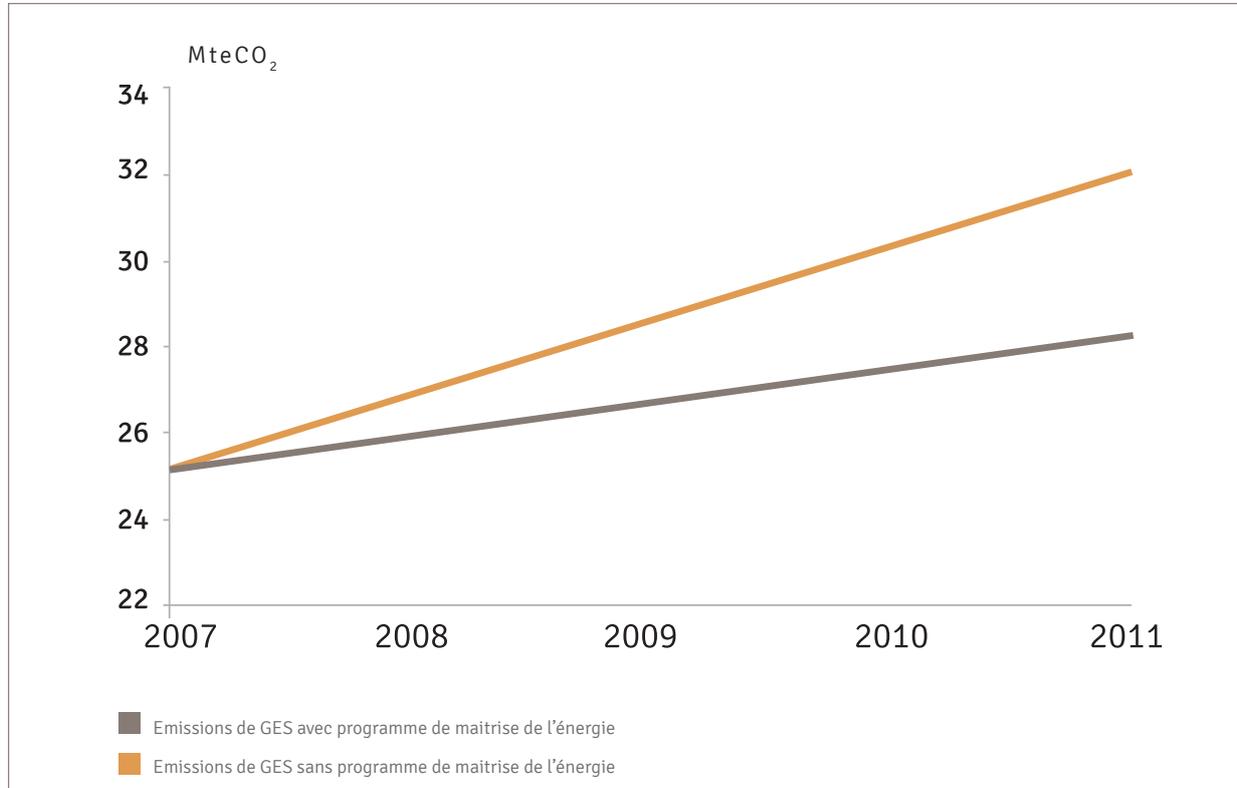
Pour intensifier la politique de maîtrise de l'énergie, la Tunisie a entamé en 2008, la mise en œuvre d'un programme ambitieux visant la réduction de l'intensité énergétique de 3% par an entre 2008 et 2011. Ce programme (Programme quadriennal de maîtrise de l'énergie 2008-2011) devrait se traduire par l'exploitation du potentiel d'atténuation de GES et le développement des projets de Mécanisme de Développement Propre (MDP) dans le secteur de l'énergie.

L'intensification des projets de maîtrise de l'énergie s'articule autour de trois axes :

- Le maintien d'une croissance modérée de la demande d'énergie primaire de 2,8% par an ;
- L'augmentation de la part des énergies renouvelables à raison de 4% dans la consommation d'énergie en 2011, ce qui devrait contribuer à la baisse des émissions de GES imputables à la production d'énergie ;
- Le développement de l'utilisation du gaz naturel, qui devrait contribuer à l'émergence des énergies propres à faible contenu en carbone.

Les principales actions prévues durant la période 2008-2011, ayant un impact sur la réduction des émissions de GES et le montage de projets MDP sont :

- L'intensification des contrats programmes dans l'industrie ;
- Le développement de l'utilisation des lampes basse consommation dans les secteurs résidentiel et tertiaire ;
- La certification des appareils électroménagers ;
- Le développement de la cogénération ;
- L'isolation thermique des bâtiments ;
- Le chauffage solaire de l'eau dans les secteurs résidentiel et tertiaire ;
- La production de l'électricité à partir de l'énergie éolienne.

Evolution des émissions de GES dues à l'énergie exprimée en millions de tonnes équivalent CO₂

(Source : ANME)

3.6. Autres indicateurs en relation avec l'évolution des émissions de GES dues à l'énergie

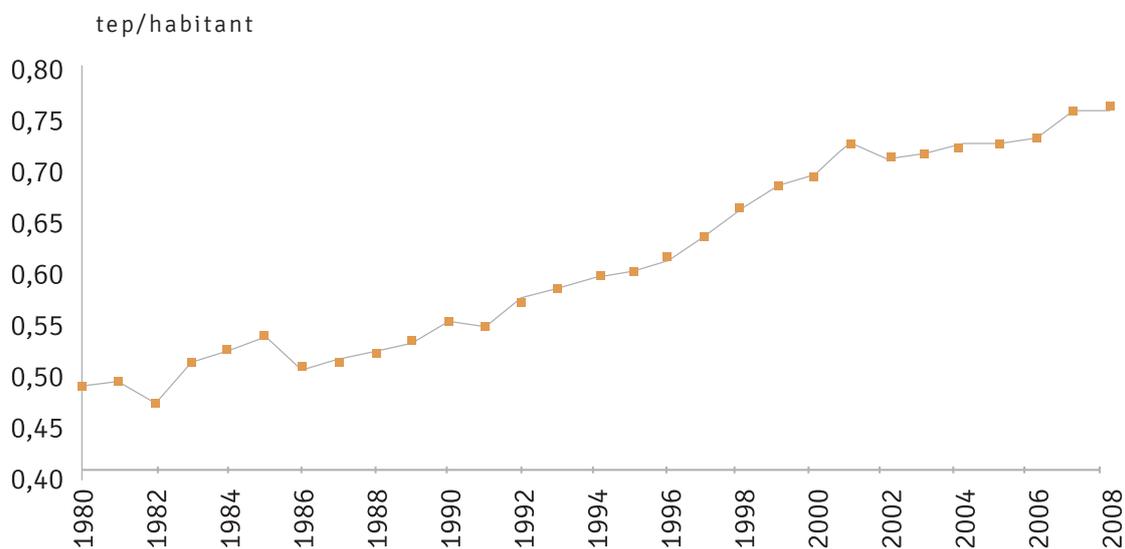
Evolution de la consommation d'énergie primaire par habitant

La consommation d'énergie primaire rapportée par habitant reste faible en comparaison avec les pays industrialisés, soit 0,765 tonne équivalent pétrole (tep) / habitant en 2008.

Cette consommation unitaire a été de 0,486 tep / habitant en 1980, soit un taux d'accroissement relativement faible d'environ 1,6% par an.

Ce taux a baissé sur la période 2000-2008 (soit 1,1% par an) sous l'effet de la politique active de maîtrise de l'énergie.

Evolution de la consommation d'énergie primaire par habitant



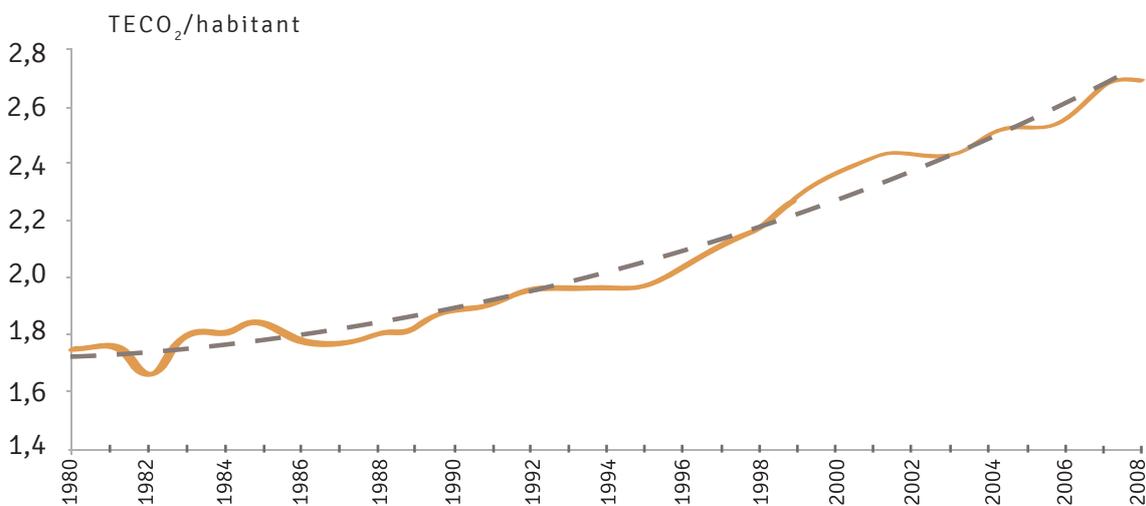
(Source : ANME)

Evolution des émissions de GES dues à l'énergie par habitant

Comme pour l'énergie primaire, les émissions de GES dues à l'énergie et rapportées par habitant restent faibles, comparativement aux pays industrialisés.

Ainsi, les émissions de GES dues à l'énergie, par habitant, sont passées de 1,75 TE-CO₂ / habitant en 1980 à 2,69 TE-CO₂ / habitant en 2008, soit une augmentation annuelle moyenne d'environ 1,5%.

Evolution des émissions de GES dues à l'énergie en TE-CO₂ par habitant



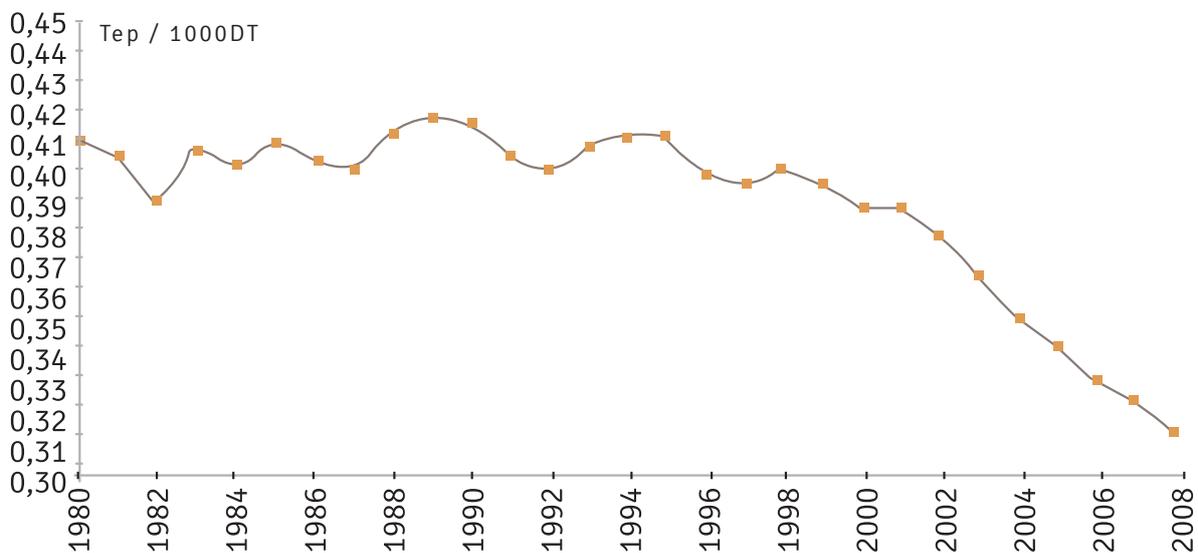
(Source : ANME)

Evolution de l'intensité énergétique primaire

L'intensité énergétique primaire, définie comme le rapport entre la consommation d'énergie primaire et le PIB à prix constant 1990, a connu une baisse annuelle moyenne d'environ 1% sur la période 1980-2008.

Grâce à la politique énergétique dans les différents secteurs économiques, l'intensité énergétique primaire (exprimée en tonnes équivalent pétrole / 1000 DT : tep / 1000 DT) a connu une baisse encore plus forte à partir de 2000, estimée en moyenne à 2,6% par an.

Evolution de l'intensité énergétique primaire en tep/1000 DT



(Source : ANME)

Evolution des émissions spécifiques du secteur électrique

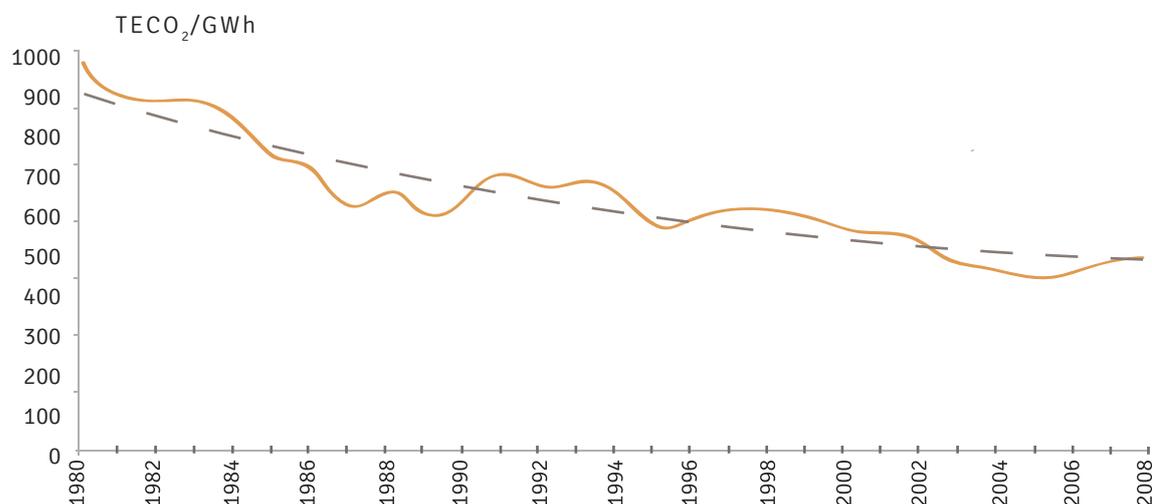
Les émissions spécifiques du secteur électrique, définies comme le rapport entre les émissions du secteur et la production d'électricité, ont baissé entre 1980 et 2008, passant de 960 TE-CO₂ / GWh à 518 TE-CO₂ / GWh.

En effet, on peut distinguer deux périodes différentes caractérisant l'évolution des émissions spécifiques du secteur électrique :

- La première période 1980-1994 est marquée par la prédominance des turbines à gaz et du thermique à vapeur. Sur cette période, le niveau d'émissions, par GWh produit, était en moyenne de 740 TE-CO₂.
- La deuxième période 1995-2008 est marquée par l'introduction de la technologie du cycle combiné à partir de 1996 et le développement de l'utilisation du

gaz naturel. Le niveau d'émissions par GWh produit a, par conséquent, progressivement baissé pour atteindre environ 518 TE-CO₂ en 2008.

Evolution des émissions de GES spécifiques au secteur de l'énergie en TE-CO₂ / GWh



(Source : ANME)

4. Initiatives programmées et potentiel d'atténuation des émissions de GES dans le secteur de l'énergie

4.1. Le Plan Solaire Tunisien (PST)

Le Plan Solaire Tunisien (PST) représente l'initiative programmée la plus importante en termes d'atténuation des émissions de GES dans le secteur de l'énergie. Le PST s'insère dans le cadre de la contribution de la Tunisie à la mise en œuvre du Plan Solaire Méditerranéen, avec une vision de long terme qui prend en considération les acquis en matière de maîtrise de l'énergie.

Le PST regroupe les projets d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables. Il couvre la période 2010-2030 avec l'identification de 40 projets sur la première période 2010-2016. Deux principaux objectifs sont visés par le PST :

- Une réduction de la demande d'énergie de 24% en 2016 et 40% en 2030.
- Une augmentation de la part des énergies renouvelables dans la capacité de production électrique à raison de 11% en 2016 et 40% en 2030.

L'amélioration de l'efficacité énergétique vise une réduction substantielle de l'intensité énergétique, qui devrait passer de 0,268 tonnes équivalent pétrole (tep) / 1000 DT en 2016 à 0,200 tep / 1000 DT en 2030.

Etant donné que le PST couvre la majorité des actions d'efficacité énergétique et d'énergies renouvelables, le potentiel d'atténuation dans le secteur de l'énergie peut être assimilé à celui du PST. Ce potentiel a été évalué sur la base de deux scénarios :

- Un scénario tendanciel (ou de référence) qui repose sur la poursuite des tendances en matière de maîtrise de l'énergie ;
- Un scénario d'atténuation qui se traduit par la mise en œuvre complète du PST, de façon à baisser le niveau de l'intensité carbone à 0,480 TE-CO₂ / 1000 DT en 2030.

Dans le scénario de référence, le niveau d'émissions de GES atteindrait 60 millions de TE-CO₂ (60 MTE-CO₂) en 2030, soit un taux de croissance annuel moyen de 3,7% entre 2009 et 2030. Dans le scénario d'atténuation, le renforcement des actions de maîtrise de l'énergie limiterait le taux de croissance des émissions à 1,1% par an ; les émissions devraient atteindre 35 MTE-CO₂ en 2030.

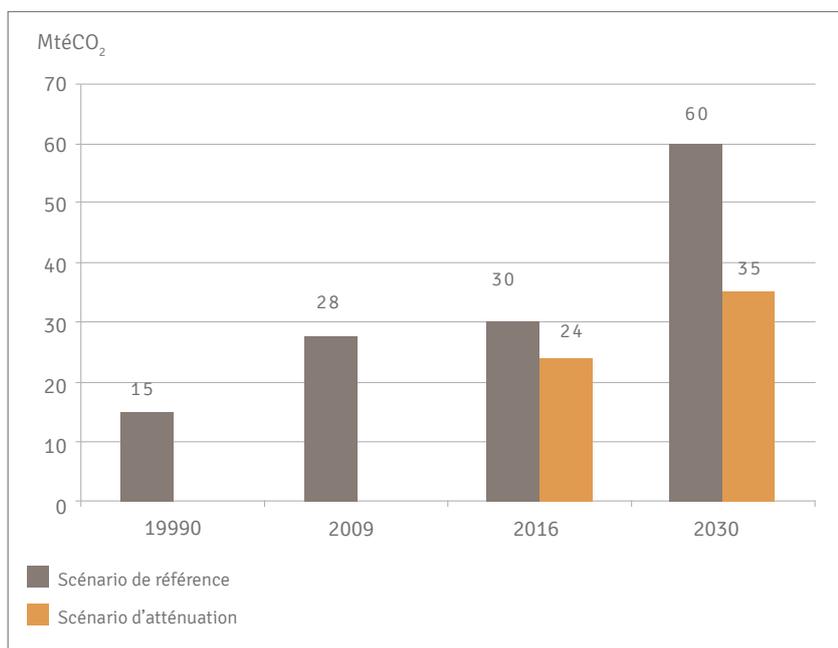
Les options d'atténuation sont réparties entre deux catégories :

- Les options d'efficacité énergétique dans l'ensemble des secteurs concernés : l'industrie manufacturière, le transport et le bâtiment ;

- les options d'énergies renouvelables, notamment pour la production d'électricité.

Comme le montre le graphique ci-après, les émissions évitées devraient atteindre 6 MTE-CO₂ en 2016 et 25 MTE-CO₂ en 2030.

Potentiel d'atténuation du PST en millions de TE-CO₂



(Source : ANME)

4.2. Potentiel et options d'atténuation dans le secteur de la transformation énergétique

Le Plan Solaire Tunisien (PST) vise l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la production électrique pour atteindre 11% en 2016 et 25% en 2030. Les principaux projets de production d'électricité renouvelable visés par le PST durant la première période 2010-2016 sont :

- Une centrale solaire CSP de 25 MW intégrée à un cycle combiné de 150 MW : les émissions évitées sont estimées à 40 000 TE-CO₂ / an.
- Une centrale solaire CSP de 75 MW par le secteur privé : les émissions évitées sont estimées à 116 000 TE-CO₂ / an.
- Une centrale solaire CSP combinée solaire-gaz de 44

MW : les émissions évitées sont estimées à 8 000 TE-CO₂ / an.

- Une centrale photovoltaïque de 10 MW à réaliser par le secteur privé : les émissions évitées sont estimées à 10 000 TE-CO₂ / an.

- Une centrale photovoltaïque à réaliser par la Société Tunisienne d'Electricité et du Gaz (STEG) : les émissions évitées sont estimées à 10 000 TE-CO₂ / an.

- l'autoproduction d'électricité à partir de l'énergie éolienne d'une puissance de 60 MW par les établissements gros consommateurs d'électricité : les émissions évitées sont estimées à 120 000 TE-CO₂ / an.

- Un parc éolien de 190 MW à réaliser par la STEG : les émissions évitées sont estimées à 334 000 TE-CO₂ / an.

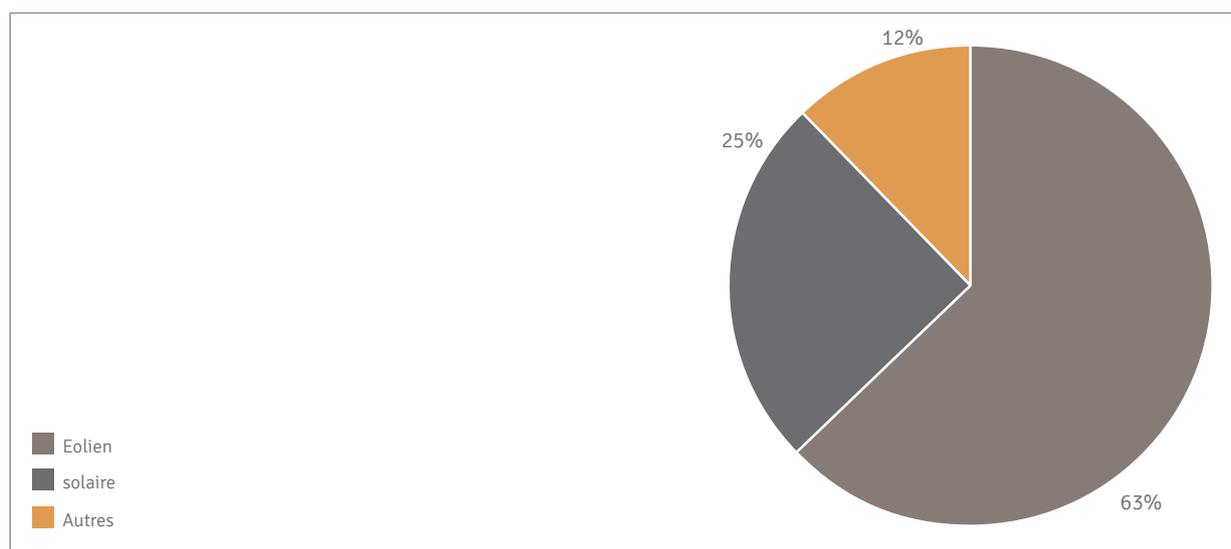
- Un parc éolien de 100 MW à réaliser par le secteur privé : les émissions évitées sont estimées à 176 000 TE-CO₂ / an.

Le PST vise une bonne mobilisation des énergies renouvelables dans la production d'électricité. Ainsi, la capacité de production électrique à partir des énergies renouvelables devrait atteindre 1000 MW en 2016 et 4700 MW en 2030. A l'horizon 2030, l'éolien devrait représenter la première filière avec 2700 MW,

suivi du CSP avec 1700 MW et du photovoltaïque avec 300 MW.

Les émissions évitées cumulées à partir du développement de la production d'électricité à partir de sources renouvelables devraient atteindre 54 MTE-CO₂ en 2030. La structure des émissions par filière renouvelable se présente comme suit :

Répartition, par filière renouvelable, du potentiel d'atténuation dans le secteur de production électrique à partir de sources renouvelables



(Source : ANME)

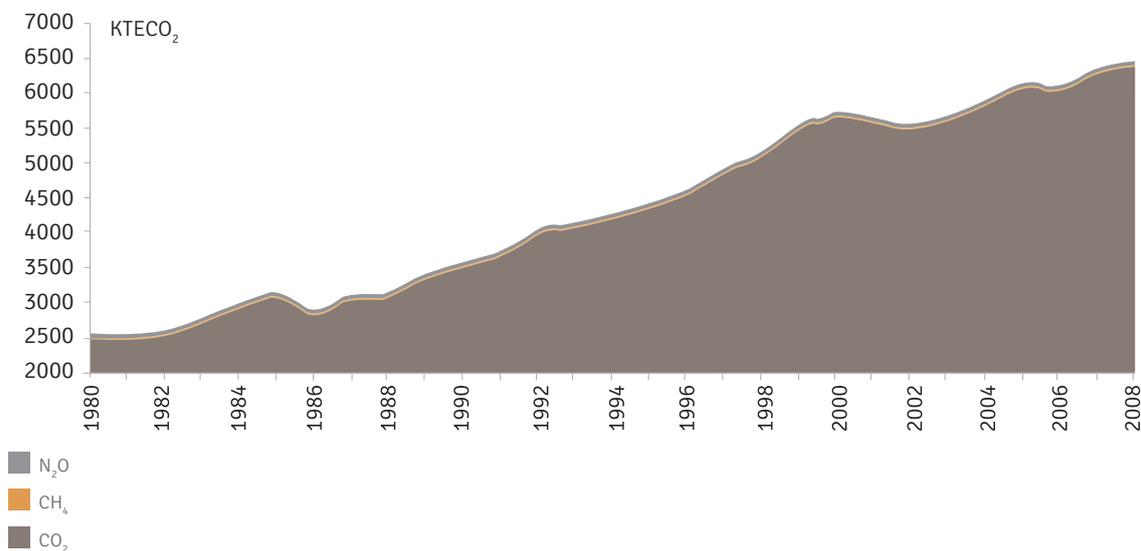
4.3. Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans le secteur du transport

En ce qui concerne le potentiel d'atténuation lié à la consommation sectorielle d'énergie finale (Transport, Industrie manufacturière, bâtiment), les derniers travaux de prospective énergétique menés par l'ANME ont fait recours au modèle MEDPRO pour établir la projection de la demande et le calcul des émissions de GES aux horizons 2020 et 2030. Deux scénarios ont été retenus dans ces travaux :

- Un scénario qui traduit la poursuite des tendances ;
- Un scénario d'atténuation qui traduit la politique volontariste de maîtrise de l'énergie.

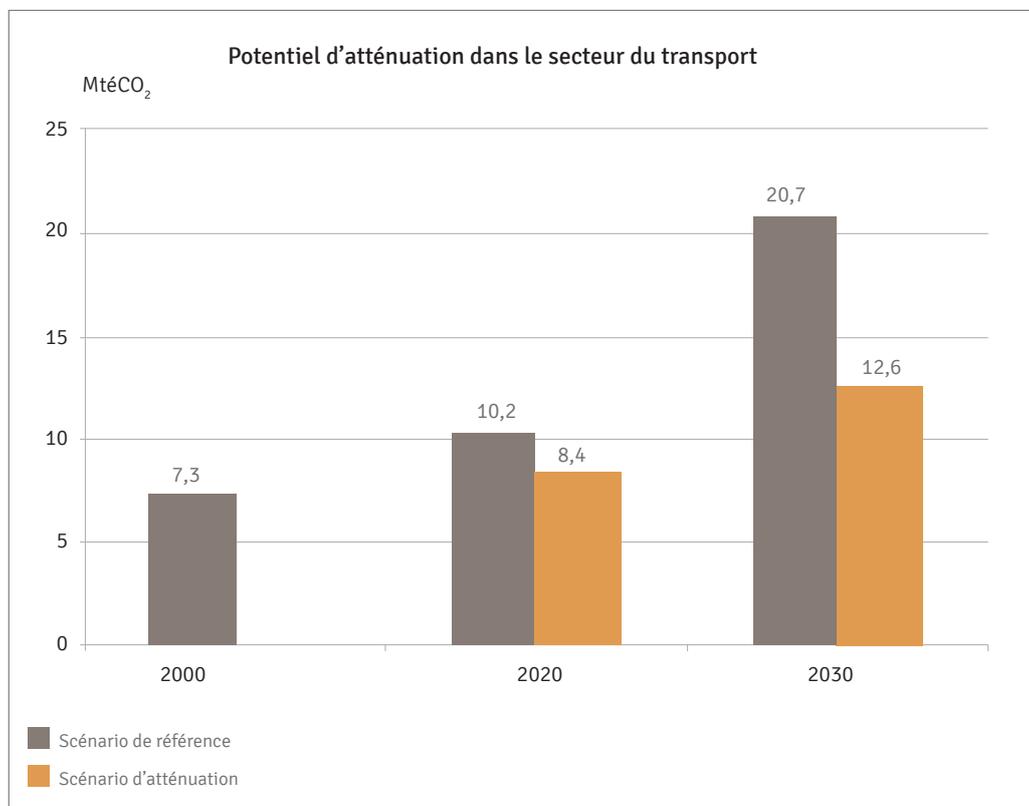
Concernant le secteur du transport, la consommation de carburants représente 31% de la consommation d'énergie finale. La structure de la consommation est dominée par l'utilisation du gazoil qui accapare plus de 50% de la consommation d'énergie du transport. Selon le scénario de référence, les émissions du secteur du transport devraient atteindre 10,2 MTE-CO₂ en 2020 et 20,7 MTE-CO₂ en 2030 .Dans le scénario d'atténuation, les émissions devraient être ramenées à 8,4 MTE-CO₂ en 2020 et 12,6 en 2030.

Evolution des émissions, par gaz, dues au secteur du transport en 1000 tonnes équivalent CO₂ : KTE-CO₂



(Source : ANME)

Potentiel d'atténuation dans le secteur du transport en millions de tonnes équivalent CO₂ : MTE-CO₂



(Source : ANME)

Les principales options d'atténuations retenues pour réduire les émissions dues à l'utilisation de l'énergie dans le secteur transport sont :

- L'intensification des audits énergétiques et des contrats programmes;
- Le développement des bancs de diagnostics;
- La formation à la conduite rationnelle;
- La généralisation des plans de transport dans les grandes villes;
- La mise en place des centrales de frets;
- Le recours au transport ferroviaire;
- L'utilisation des biocarburants.

4.4. Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans l'industrie manufacturière

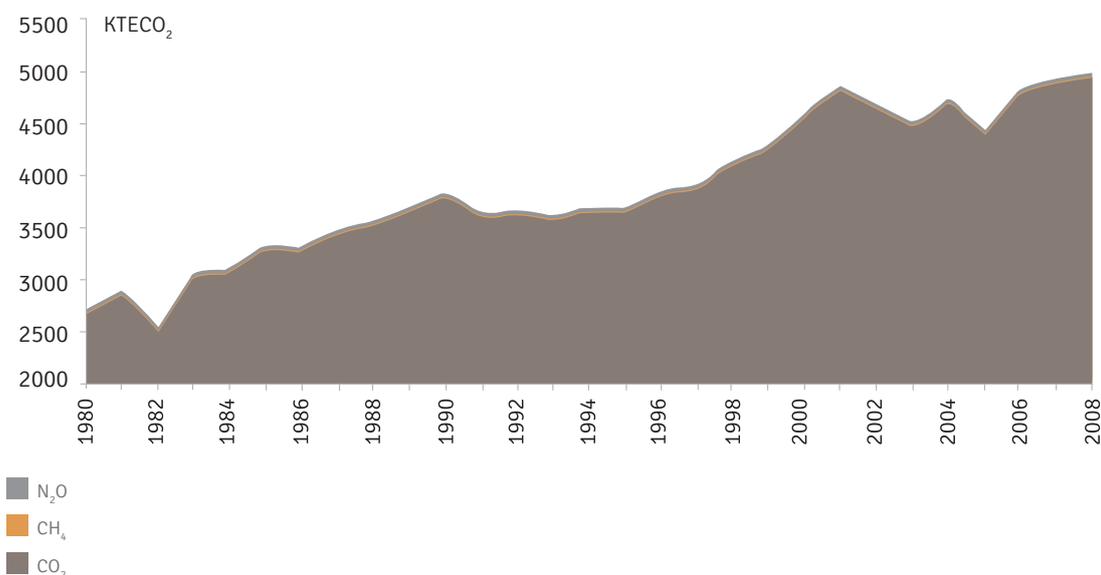
Avec 36% de la consommation d'énergie finale, l'industrie manufacturière représente le secteur le plus énergivore de l'économie tunisienne. L'évolution de la consommation par forme d'énergie est marquée par le développement important de l'utilisation du Pet Coke qui a atteint 0,27 million de tep en 2009.

La consommation du Pet Coke représente plus de 50% de la consommation d'énergie des cimenteries tunisiennes.

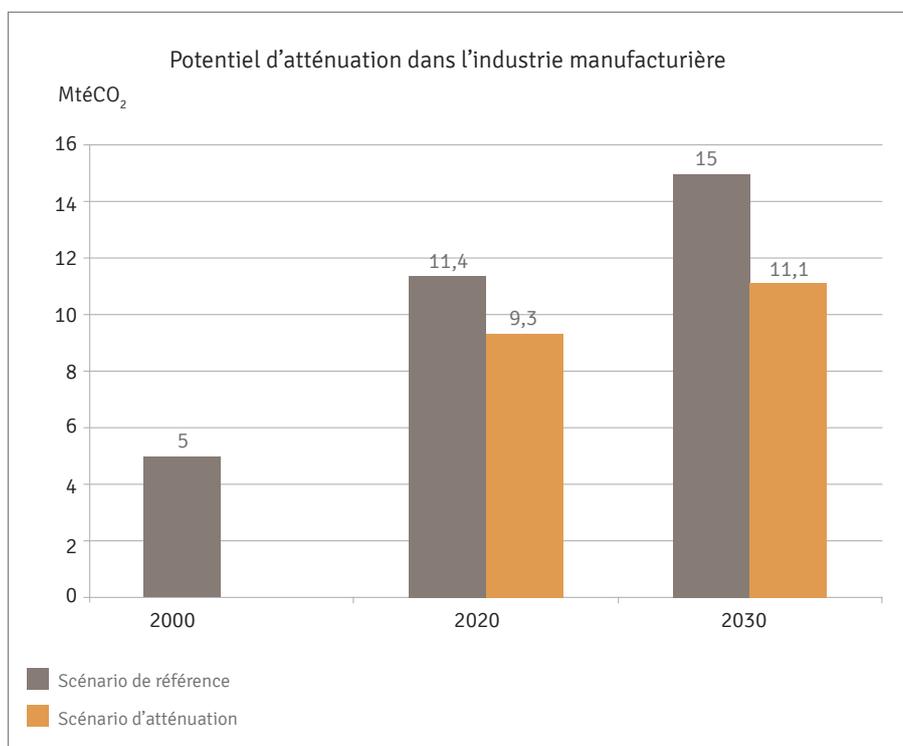
Dans le scénario de référence, les émissions devraient passer de 11,4 MTE-CO₂ en 2020 à 15 MTE-CO₂ en 2030, soit un taux de croissance annuel moyen de 2,8%.

Dans le scénario d'atténuation, le taux de croissance des émissions devrait être ramené à 1,8% par an; les émissions de l'industrie manufacturière atteindraient 9,3 MTE-CO₂ en 2020 et 11,1 MTE-CO₂ en 2030.

Evolution des émissions, par gaz, dues à l'industrie manufacturière en 1000 tonnes équivalent CO₂ : KTECO₂



(Source : ANME)

Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans l'industrie manufacturière en MTE-CO₂

(Source : ANME)

4.5. Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans le secteur du bâtiment

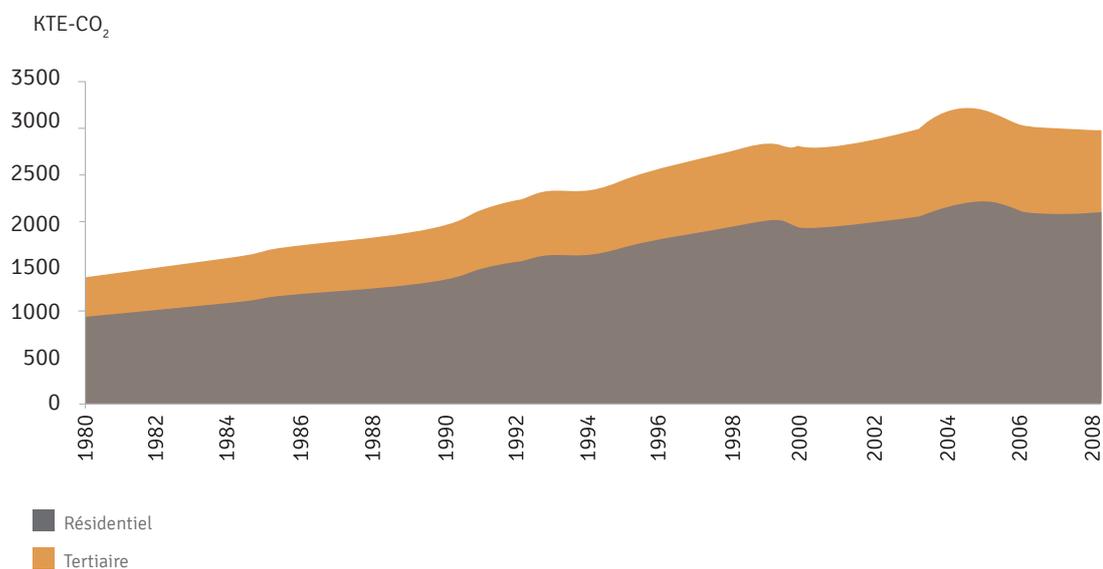
La consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment regroupe les utilisations énergétiques dans les secteurs résidentiel et tertiaire. La consommation d'énergie du bâtiment représente 25% de la consommation d'énergie finale. Dans le secteur résidentiel, la consommation d'énergie des ménages est dominée par l'utilisation du GPL pour l'usage cuisson. Dans le secteur tertiaire, la consommation

d'énergie est accaparée par l'utilisation du gaz naturel et l'électricité pour le chauffage, la climatisation et les appareils électroménagers.

Dans le scénario de référence, les émissions dues à l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment devraient s'élever à 11,1 MTE-CO₂ en 2020 et 15,3 MTE-CO₂ en 2030.

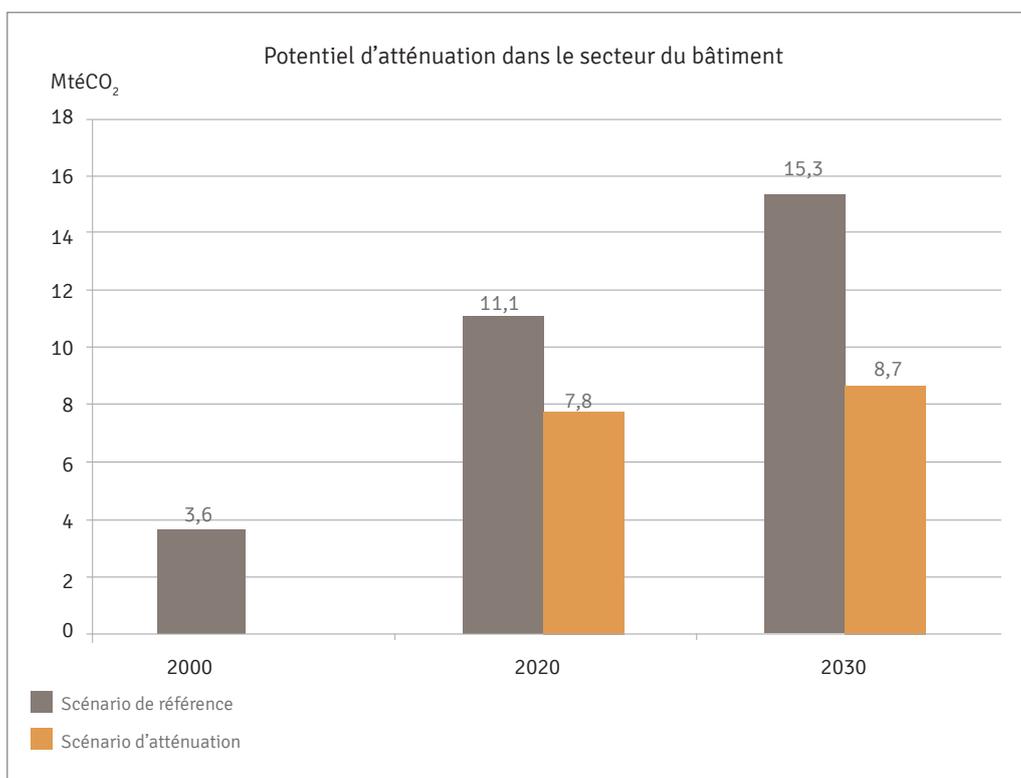
Dans le scénario d'atténuation, les émissions atteindraient 7,8 MTE-CO₂ en 2020 et 8,7 MTE-CO₂ en 2030.

Evolution des émissions dues aux bâtiments en 1000 tonnes équivalent CO₂ : KTE-CO₂



(Source : ANME)

Potentiel d'atténuation lié à l'énergie dans le secteur du bâtiment en MTE-CO₂



Les principales options retenues pour atténuer les émissions générées par les utilisations énergétiques dans le bâtiment sont :

- La généralisation des contrats programmes dans le secteur tertiaire (hôtels, hôpitaux et les bâtiments administratifs) ;
- Le renforcement du programme de certification des appareils électroménagers (réfrigérateurs, climatiseurs, machines à laver, etc.);
- La réglementation thermique dans les bâtiments neufs;
- La rénovation thermique des bâtiments existants;
- La généralisation de la diffusion des lampes basse consommation;
- La diffusion des lampes au sodium pour l'éclairage public;
- L'utilisation de l'énergie solaire pour l'eau chaude sanitaire à grande échelle ;
- Le recours aux toits solaires pour la production d'électricité;
- Le chauffage des piscines par l'énergie solaire.

5. Atténuation des émissions de GES dans le secteur des Procédés Industriels

5.1 Introduction

La part de l'industrie dans le PIB a augmenté de manière continue, passant de 7% en 1962, à 14,3% en 1991, puis à 28,3% en 2004 et enfin à 29,8% en 2007. En effet, le secteur industriel a connu un développement considérable à partir des années 1970, avec une progression de l'ordre de 6,2%, 5,8% et 6,1% au cours des VIIème (1987-1991), VIIIème (1992-1996) et IXème (1997-2001) plans de développement économique et social puis de 4,9% au cours du Xème plan (2002-2006).

5.2 Programmes de développement industriel

Un programme de modernisation et de restructuration de l'industrie a été engagé depuis 1995, financé sur

le budget de l'Etat tunisien avec l'appui financier et technique de divers partenaires internationaux.

5.2.1 Le Programme de Mise à Niveau (PMN)

Le principal objectif du PMN était de renforcer la compétitivité des entreprises pour leur permettre de mieux affronter la concurrence internationale, à la fois sur les marchés intérieur et extérieur. L'adhésion de la Tunisie à la zone de libre échange avec l'Union Européenne, s'est traduite en effet par un accroissement de la présence de produits européens sur le marché tunisien. Au niveau international, la mondialisation de l'économie et le démantèlement des accords préférentiels conclus avec la Tunisie ont contribué à exacerber la concurrence entre les produits tunisiens et étrangers.

Dans ce contexte, les décideurs politiques tunisiens ont opté pour la mise en place d'un mécanisme de soutien à l'entreprise, qui comporte plusieurs volets :

- un diagnostic préalable de l'entreprise dont la finalité est de la positionner dans son environnement interne et externe, d'identifier ses forces et ses faiblesses et de définir les actions à mener pour renforcer sa compétitivité dans les secteurs cibles.

- une subvention à l'investissement afin d'inciter les entreprises à se moderniser sur le plan technologique, et à faire appel à l'expertise et au conseil pour la mise en œuvre des actions requises.

- une incitation au renforcement des fonds propres de l'entreprise.

- une subvention supplémentaire pour inciter au recrutement de cadres expérimentés dans des fonctions spécifiques.

Depuis 2004, le diagnostic environnemental des entreprises est devenu obligatoire. Depuis le début du programme en 1995 et jusqu'en 2005, plus de 2000 entreprises ont participé au PMN totalisant un montant d'investissement dépassant 3 000 millions de DT, dont 16% correspondent à des investissements immatériels. Les primes accordées se sont élevées à 500 millions de DT.

5.2.2 Le Programme de Mise à Niveau Environnemental (PMNE)

Ce programme vise à améliorer les performances environnementales des entreprises dans les secteurs de l'industrie et du tourisme et à les mettre en conformité avec les standards internationaux en la matière. En ce qui concerne l'industrie, il répond à deux préoccupations :

- atténuer les impacts négatifs de l'industrie sur l'environnement ;
 - éviter les risques d'une éventuelle entrave au développement des exportations sur certains marchés, à cause de contraintes environnementales.
- Ce programme est piloté par le Ministère chargé de l'environnement.

5.3 Défis et opportunités pour l'industrie en Tunisie

L'ouverture totale de l'économie tunisienne sur son environnement international et son intégration dans un vaste ensemble économique constitué de l'Union Européenne et de tous les pays méditerranéens, engage la Tunisie dans une nouvelle voie, avec de nouveaux défis :

- concurrence de plus en plus forte des pays à bas coût de main d'œuvre ;
- accroissement de la concurrence due à la libéralisation du commerce extérieur ;
- intensification des échanges induits par

l'établissement de zones de libre échange ;

- mise en place de l'écolabel pour une politique de traçabilité environnementale du produit, depuis sa production jusqu'à sa commercialisation.
- prise en compte de plus en plus nécessaire des aspects environnementaux et des mesures de protection que certains pays développés ont mis en place pour se prémunir vis-à-vis de la concurrence des pays qui ne respectent pas ces exigences.

5.4 Mesures d'atténuation des GES dans le secteur des procédés industriels

Des projets de Mécanisme de Développement Propre (MDP) dans le secteur des procédés industriels sont actuellement en cours d'investigation et d'étude. L'objectif de cette action étant de mieux évaluer le potentiel d'atténuation des émissions de GES dans ce secteur et d'accéder ainsi à la finance carbone.

A ce titre, deux projets importants ont été identifiés dans le secteur des procédés industriels qui seraient susceptibles d'être développés au courant de la période 2008-2012. Ces projets sont:

- un projet de récupération et de destruction de l'oxyde nitreux dans l'usine de production d'acide nitrique du Groupe Chimique Tunisien, à Gabès.
- un projet de modification de la composition des ciments destinés au maçonnerage, qui vise la réduction de la fraction calcique et donc des émissions de CO₂ durant leur fabrication.

Projets MDP identifiés dans le secteur de Procédés Industriels

	Durée de comptabilisation des émissions évitées	Emissions (KTE-CO ₂) évitées sur la durée de comptabilisation
Récupération et destruction du N₂O dans l'usine d'acide nitrique du Groupe Chimique Tunisien	10 ans	2470
Changement de la composition des ciments destinés au maçonnerage	10 ans	15 515

5.5 Emissions du scénario de référence aux horizons 2010 et 2020

5.5.1 Hypothèse de base

Le secteur des procédés industriels inclut essentiellement la production de ciments, l'utilisation de produits minéraux, la production d'acide nitrique, la production de métaux ferreux et la production de biens agroalimentaires.

Les émissions de GES imputables aux procédés industriels varient dans le temps en fonction de la croissance de la production industrielle et des progrès technologiques faits dans les industries manufacturières et de transformation.

Production de ciments

Les émissions de GES imputables aux procédés industriels proviennent essentiellement du sous-secteur des industries minérales, notamment de l'activité de production du ciment. La Tunisie dispose actuellement de six usines de fabrication du ciment gris et d'une usine produisant du ciment blanc.

Perspectives futures

Suite à une demande interne soutenue dans le cadre de plusieurs projets de développement, et suite à la consolidation des investissements et de l'accélération des exportations, l'industrie des matériaux de construction en Tunisie a connu une expansion rapide, notamment dans le secteur du ciment. Par ailleurs, plusieurs investisseurs étrangers ont manifesté leur intérêt pour la construction de nouvelles cimenteries en Tunisie.

L'industrie de fabrication du ciment en Tunisie est ainsi appelée à croître de deux points au cours du XI^{ème} plan de développement économique et social (2007-2011). D'après les études du Ministère chargé de l'industrie, la demande de ciment, à moyen et long termes, devrait augmenter de 4,5% par an avec un pic pouvant atteindre 7% en 2013-2014, imposé surtout par d'importants projets d'infrastructures et de construction immobilière en Tunisie.

5.5.2 Scénario de référence

Les données d'activités utilisées pour le calcul des émissions de GES dans le secteur des procédés industriels, sont estimées sur la base des taux de croissance déterminés à partir des données statistiques nationales sur les différents produits, sur la période 1994-2007.

Ainsi, compte tenu du rythme de croissance du secteur des ciments, la production de ciments serait à l'origine d'une quantité d'émissions de GES de l'ordre de 8,4 millions de tonnes en 2010, et de 13 millions de tonnes en 2020. Les productions de chaux artificielle et hydraulique, et l'utilisation du carbonate de calcium augmenteront de manière similaire mais à un taux moindre, de 2 à 3%.

Dans le domaine de la sidérurgie, la production de fonte a fortement chuté depuis 2004. En revanche, celle de l'acier reste de l'ordre de 550 000 tonnes par an vers 2000. Une croissance de la production, au rythme de 3%, pour répondre aux besoins dans les domaines de l'immobilier et de l'infrastructure, engendrerait une quantité produite de 676 000 tonnes en 2010 et de 908 000 tonnes à l'horizon 2020.

Sur le plan de l'industrie chimique, la production d'acide nitrique évaluée à environ 145 000 tonnes en 2000, a connu une forte baisse (ramenée à 70 000 t/an) sur la période 2002-2009. Aucune reprise de l'activité n'est prévue avant l'année 2012, puis la production s'accroîtrait à un rythme pratiquement constant, de 150 000 tonnes environ, jusqu'en 2020. Une croissance des émissions dues à l'industrie d'acide nitrique, ou en provenance de l'industrie sidérurgique est peu probable compte tenu de la tendance de stagnation de l'utilisation des engrais azotés, et par conséquent de leur production. De même, dans le domaine de la sidérurgie, l'industrie de la fonte est définitivement en veilleuse, et son activité principale repose sur le recyclage et la transformation de l'acier au four à arc.

Il en résulte que les émissions totales de GES aux horizons 2010 et 2020 seraient dominées par celles du sous-secteur des industries minérales, notamment celles des ciments et de la chaux.

5.6 Scénario d'atténuation

La production totale de GES dans le cas du scénario d'atténuation sera tributaire des mesures d'atténuation à appliquer dans ce domaine, du degré de maturité des projets MDP actuels (2 projets), et de l'évolution des technologies quant à la production de clinker et de ciments à usage ordinaire et spécialisé. Les deux projets MDP relatifs aux procédés industriels concernant la récupération et la destruction du N₂O

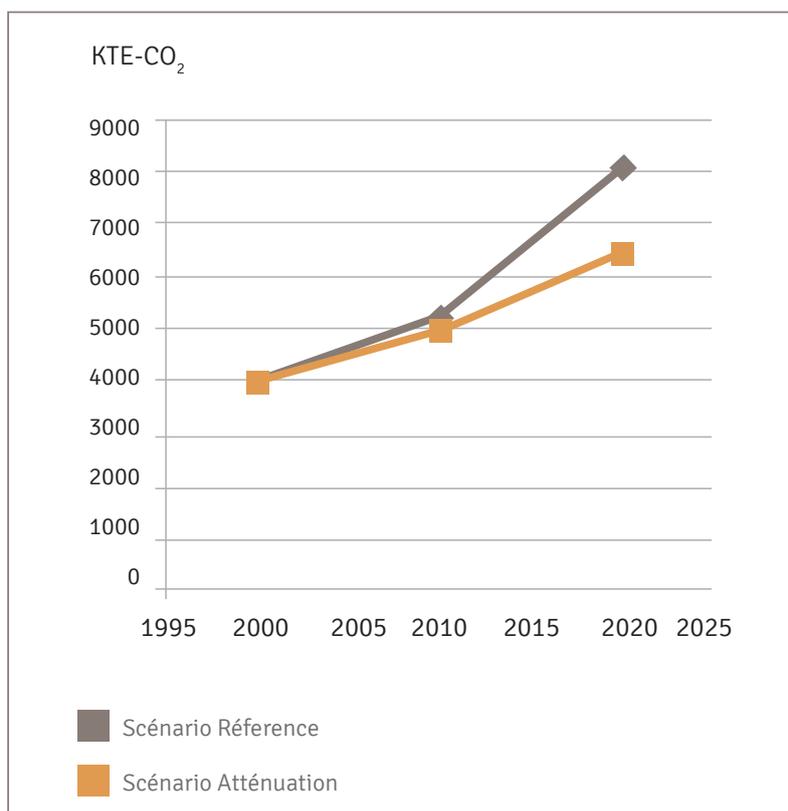
produit par le GCT et le changement de composition des ciments destinés au maçonnerage, sont prévus de démarrer respectivement en 2011 et 2010.

Les calculs du scénario d'atténuation et la comparaison des émissions calculées pour le scénario de référence, à celles estimées par l'ANME (2008) pour les deux projets MDP dans le domaine du secteur industriel, permet de dresser le bilan suivant pour le scénario d'atténuation:

Estimation des émissions de GES en KTE-CO₂ du scénario d'atténuation dans la période 2000-2020

	2000	2010	2020
Scénario de référence	3 954,5	5 214,5	7 994,4
Scénario d'atténuation	3 954,5	4 967,5	6 442,4

Variations des émissions de GES des scénarios de référence et d'atténuation dues au secteur des procédés industriels



5.7 Retombées des mesures d'atténuation

L'action volontariste d'atténuation des émissions de GES dans le domaine des procédés industriels se situe au niveau :

- des programmes nationaux de développement industriels, qui encouragent l'adoption des technologies les plus performantes, et la préservation de l'environnement.

- de l'identification de projets éligibles au MDP pour lequel deux projets ont été identifiés et dont l'un est destiné à réduire les émissions d'oxyde nitreux des installations du Groupe Chimique de Tunisie.

Dans l'hypothèse du scénario d'atténuation, les émissions totales de GES s'élèveront de 5 MTE-CO₂ en 2000 à près de 6,4 MTE-CO₂ en 2020, contre 8 MTE-CO₂ en 2020 du scénario de référence.

Les mesures et programmes volontaires d'atténuation des GES, en plus de projets MDP envisagés, permettraient une diminution importante des émissions de GES aux horizons 2010 et 2020. La mise en place de projets MDP en plus des programmes nationaux permettra l'évitement d'environ 1,6 MTE-CO₂ par an, à partir de l'horizon 2011, représentant 19,4% des émissions totales du secteur, et un évitement total estimé à 18 MTE-CO₂ à l'horizon 2020. Dans le détail, les calculs montrent une réduction des émissions de GES variant de 5% en 2010 à 7% en 2020. Les quantités totales de GES évitées sur la période 2000-2020 représenteraient 14,6% de la totalité des émissions dues aux procédés industriels durant cette même période.

6. Atténuation des émissions de GES dans le secteur de l'Agriculture

6.1 Introduction

Le secteur de l'agriculture contribue à hauteur de 12.6% du produit intérieur brut, de 9.6% des exportations, de 10.1% des investissements et de 16 % de l'emploi.

La planification du développement agricole pour la décennie 2007 – 2016 se basera sur :

- l'amélioration de la compétitivité du secteur,
- la promotion des exportations en tant que moteur de croissance,
- la promotion des ressources naturelles, et
- la consolidation de la sécurité alimentaire.

6.2 Mesures d'atténuation des GES dans le secteur de l'Agriculture

6.2.1 Mesures d'atténuation des émissions de N₂O

Les options d'atténuation et les pratiques de gestion pour réduire les émissions de N₂O dans le secteur agricole incluent les actions suivantes :

- l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'azote des fertilisants artificiels et son apport en fonction des besoins des plantes,
- l'épandage modéré de fumier,
- la synchronisation optimale des épandages,
- l'amélioration de l'aération du sol,
- l'utilisation d'engrais améliorés,
- le recours à des inhibiteurs de nitrification,
- le développement de la recherche appliquée pour l'amélioration des engrais, et la promotion de l'agriculture biologique,
- la promotion de l'agriculture biologique.

Le tableau ci-après résume l'impact, en termes de réduction des émissions d'oxyde nitreux, des actions les plus importantes :

Atténuation des émissions d'oxyde nitreux dans le secteur agricole en 2020

Actions	Quantité (1000 TE-CO ₂)
- Augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'azote des fertilisants artificiels	632
- Recherche appliquée dans le domaine d'amélioration des engrais	
Promotion de l'agriculture biologique	0,17
Total	632,17

6.2.2 Mesures d'atténuation des émissions de CH₄

Les mesures potentielles de réduction des émissions de CH₄ porteraient sur :

- la réduction de la quantité de bétail selon la capacité de charge par unité de surface des pâturages;
- l'amélioration de la productivité; et
- l'amélioration de la composition alimentaire du bétail.

Egalement, l'utilisation des digesteurs à biogaz et la réduction des matières fermentescibles sont des mesures qui peuvent être adoptées pour la réduction des émissions de CH₄ dues à la fermentation anaérobie dans les fosses à lisier. Ces mesures permettront d'éviter environ 40% des émanations de méthane à l'horizon 2020, soit 1,336 MTE-CO₂.

6.2.3 Mesures d'atténuation envisagées dans le cadre du MDP

Quatre projets dans le secteur agricole ont fait l'objet d'estimations de quantités d'évitement de GES.

Ces projets relèvent de :

- La création de deux centres de traitement des fientes et lisiers de poules pondeuses et valorisation électrique du biogaz produit. Les émissions de GES évitées ont été évaluées à 146 KTCO₂ / an.
- La création de quatre centres de traitement des

fientes et lisiers de volaille et de valorisation électrique du biogaz. Les émissions de GES évitées ont été évaluées à 161 KTE-CO₂ / an.

- La mise en place de centres de compostage de fientes et lisiers de volaille (pour le traitement des déchets dans des zones de moindre concentration en fermes avicoles) pour le traitement de 250 000 tonnes de fientes par an. Le projet permettrait de produire 45000 tonnes de compost annuellement et de réduire les émissions de GES de l'ordre de 25 KTCO₂ / an.

- La mise en place de six plateformes de méthanisation et valorisation électrique du fumier bovin. Ce projet permettrait une réduction des émissions de GES évaluée à 44 KTE-CO₂ / an

Sur la base de ces quatre projets envisagés, les options d'atténuation identifiées dans le secteur agricole permettraient l'évitement de 5 MTE-CO₂ sur la période 2009-2023, une moyenne annuelle de 345 KTE-CO₂.

Estimation de l'atténuation des GES dans le secteur agricole à l'horizon 2020

Actions	Quantité (en KTE-CO ₂ soit 1000 TE-CO ₂)
Mesure de réduction de CH ₄	1336
Mesures de réduction de N ₂ O	632
Mesure d'atténuation dans le cadre du MDP	407
Total	2375

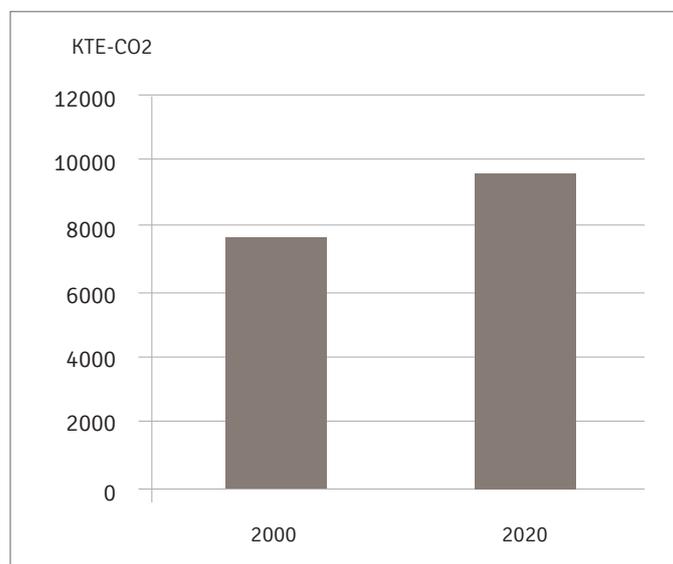
6.3 émissions de GES à l'horizon 2020 : scénario de référence

Le calcul des émissions de GES pour l'année 2020 selon la méthodologie de l'IPCC (1996 ; révisé en 2006), fournit les résultats suivants pour l'année de base (2000) et pour 2020 :

Emissions de GES dues à l'agriculture pour l'année 2020 du Scénario de référence

	2000		2020	
	1000 tonnes	KTE-CO ₂	1000 tonnes	KTE-CO ₂
CH₄	126,03	2 646,63	159,12	3341,52
N₂O	16,1	4 991,00	20,4	6324,00
NO_x	0,27	-	0,27	-
CO	7,46	-	7,52	-
TOTAL		7 637,63		9 665,52

Evolution des émissions de GES de l'agriculture (scénario de référence)



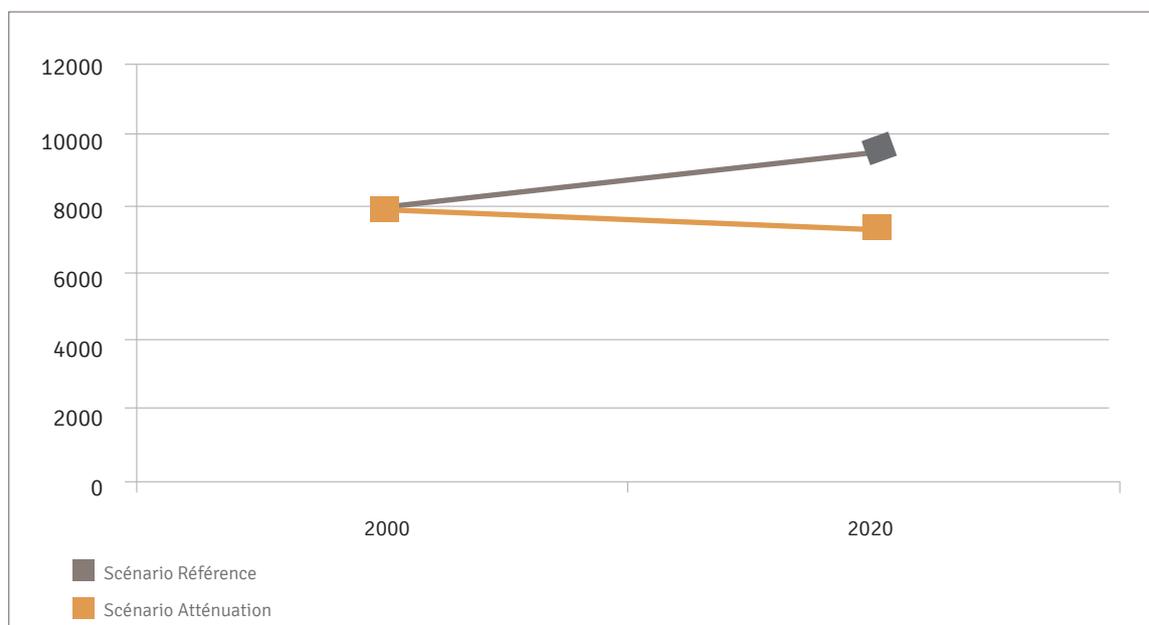
6.4 Bilan des émissions de GES entre scénario de référence et scénario d'atténuation

Dans le scénario d'atténuation, les émissions de GES dues à l'agriculture diminueraient de 3,4% en moyenne à l'horizon 2020, passant de 9,7 MTE-CO₂ à 7,3 MTE-CO₂ en 2020.

Comparaison des émissions de GES de l'année de base 2000 et, à l'horizon 2020, pour les deux scénarios de référence et d'atténuation

Année	2000	2020
	KTE-CO ₂	KTE-CO ₂
Scénario de référence	7638	9666
Atténuation		
Mesures de réduction du CH ₄		1 336
Mesures de réduction du N ₂ O		632
Mesures de réduction de MDP		407
Total atténuation		2375
Scénario d'atténuation	7638	7291

**Evolution des émissions de GES en KTE-CO₂ à l'horizon 2020 dues au secteur de l'agriculture
(Scénarios de référence et d'atténuation)**



7. Atténuation des émissions dans le secteur du Changement d'Affectation des Terres et Forêts (CATF)

7.1 Ressources naturelles, base fondamentale du développement agricole durable

Les ressources naturelles constituent la base fondamentale du développement agricole. Les stratégies mises en place en Tunisie ont dès le début mis l'accent sur la mobilisation des ressources disponibles, leur préservation et la rationalisation de leur utilisation. L'étape suivante nécessite la mise en œuvre de stratégies pour l'ensemble des ressources naturelles et leur gestion, y compris l'eau, ainsi qu'une maintenance des infrastructures.

7.2 Politique de conservation des eaux et des sols

La Stratégie Nationale de Conservation des Eaux et des Sols (2002–2011) a mis l'accent sur la rationalisation de l'exploitation des ressources naturelles et leur protection contre les différentes formes d'érosion, la désertification et la salinisation des terres. Malgré les efforts déployés en matière de protection et d'aménagement des terres agricoles, la durabilité des ouvrages et des travaux demeure tributaire de leur entretien et de la participation active des agriculteurs. C'est ainsi qu'une attention particulière est accordée aux activités de protection et d'aménagement des terres, par l'entretien et la maintenance des ouvrages, ainsi qu'à la sensibilisation des agriculteurs quant à l'importance de leur participation à la réalisation de certains travaux, notamment les travaux d'entretien, de maintenance et l'application de techniques dites douces. Parallèlement, une opération d'évaluation et d'inventaire général des travaux réalisés est menée, avec une mise à jour des cartes d'érosion, et ce dans le cadre de la mise en œuvre de la nouvelle stratégie de protection et d'aménagement des terres agricoles.

7.3 Mesures d'atténuation des GES

La politique forestière s'est basée sur la mise en œuvre de stratégies décennales dont la dernière a fixé des objectifs visant à atteindre un taux de boisement de 16% à l'horizon 2016. Ceci se traduira par la réalisation de 465 000 ha de plantations forestières et pastorales, déjà prise en compte dans le scénario de référence.

Le portefeuille de projets de Mécanisme de Développement Propore (MDP) du secteur forestier comprend 11 projets, avec des durées de crédit de 30 ans, à l'exception de trois projets, programmés sur 21

ans et sur 10 ans, qui concernent des produits ligneux destinés à des usages énergétiques.

En cas de sa mise en œuvre totale, le portefeuille de projets MDP du secteur des forêts pourrait générer 75 MTE-CO₂ d'émissions évitées, sur la période 2009-2039, avec 2,4 MTE-CO₂ évitées en moyenne annuellement. Les émissions évitées totales dépasseront 3 MTE-CO₂ sur la période 2014-2020.

Récapitulatif des mesures d'absorption et de réduction de GES découlant des options d'atténuation dans le secteur du changement d'affectation des terres et forêts, à l'horizon 2020

Actions	Superficie (1000 ha)	Réductions / an (KTE-CO ₂)	Cumul jusqu'à 2020 (KTE-CO ₂)
Régénération des forêts de chênes lièges	20	30	300
Plantation de <i>Jatropha curcas</i> sur terres marginales	115	690	6900
Amélioration des rendements d'utilisation du bois à des fins énergétiques		8	79
Conversion des terres marginales à très faible productivité en plantations à usages multiples	50	64,2	642
Consolidation biologique des ouvrages de lutte contre l'ensablement dans le sud tunisien	8	4,7	47
Total		797	7968

L'ensemble de ces mesures permettrait l'atténuation d'une quantité cumulée d'environ 8 MTE-CO₂, à l'horizon 2020.

7.4 Emissions de GES dues au CATF à l'horizon 2020 : scénario de référence

Les actions de boisement relevant des programmes nationaux de développement de l'espace forestier ont

été considérées comme partie intégrante du scénario de référence. Le bilan des émissions liées à l'utilisation, entre autres énergétique, du bois, comparé à celui de l'absorption par les formations forestières, les oliveraies, et les plantations arboricoles et urbaines, permet d'estimer un bilan global d'émissions, à l'horizon 2020, de l'ordre de -3,019 MTE-CO₂, soit une augmentation de 41% par rapport à l'année de base 2000.

Emissions de CO₂ dues au changement d'affectation des terres (2020) en KTE-CO₂

Total émissions en KTE-CO₂	5406
Utilisation énergétique du bois	5300
Autres utilisations du bois (B. d'œuvre, B. d'industrie, etc.)	106

Absorption du CO₂ par les différents systèmes végétaux (2020) en KTE-CO₂

Total absorption de CO₂	-8425
Formations forestières+ maquis et garrigues	-1117
Plantations d'oliviers	-6934
Plantations arboricoles	-248
Plantations urbaines (arbres en ville)	-126
Bilan des émissions calculées pour 2020 en KTCO ₂	
BILAN TOTAL	-3019

7.5 Emissions de GES dues au CATF à l'horizon 2020 : scénario d'atténuation

Le scénario d'atténuation envisagé tient compte des principaux projets MDP susmentionnés sur la période 2010-2020, et pour lesquels, les quantités de carbone

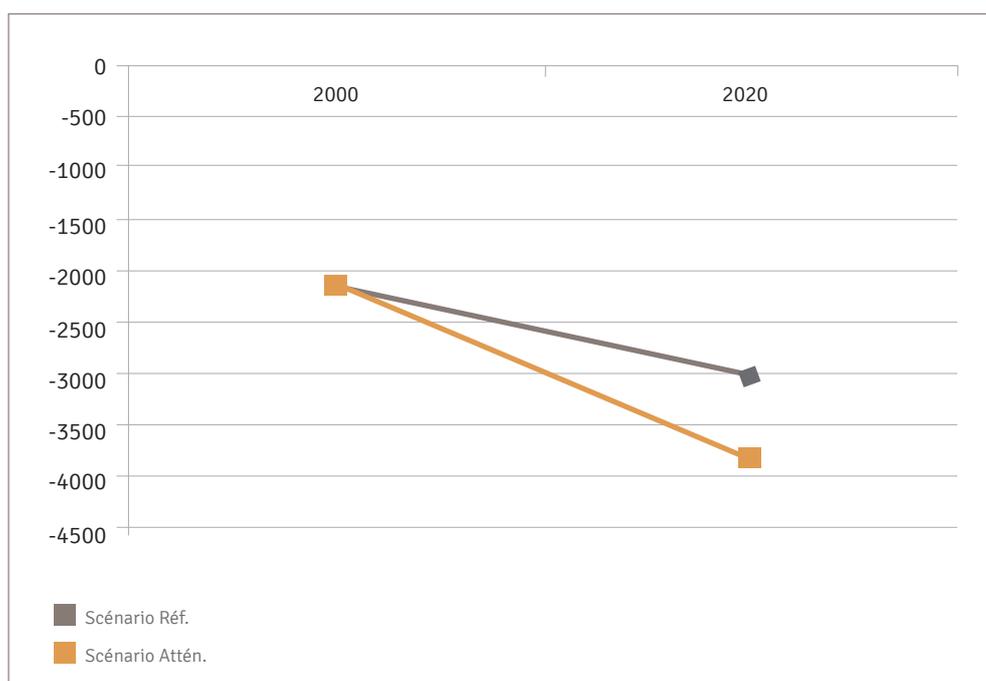
annuelles séquestrées on été estimées avec une assez bonne précision.

Comme indiqué précédemment, l'ensemble de ces mesures permettra l'atténuation d'une quantité cumulée d'environ 8 MTE-CO₂ à l'horizon 2020.

**Récapitulation des émissions de GES dans les scénarios de référence
et d'atténuation (CATF) en KTE-CO₂**

	2000	2020
Scénario de référence	- 2 142	- 3 019
Emissions	3 543	5 406
Absorption	- 5 685	- 8 425
Scénario d'atténuation	- 2 142	- 3 816
Emissions	3 543	5 406
Absorption	- 5 685	- 8 425
Projets MDP		- 797
Absorption totale		- 9 222

**Evolution des émissions de GES en KTE-CO₂ à l'horizon 2020 dues au CATF
(Scénarios de référence et d'atténuation)**



8. Atténuation des émissions de GES dans le secteur des Déchets

8.1 Politiques nationales pour la gestion des déchets solides et liquides

8.1.1 Gestion des déchets solides urbains

En ce qui concerne les déchets solides urbains, une stratégie de grande envergure a été mise en œuvre afin d'améliorer le système de collecte des déchets, d'éliminer les décharges sauvages qui persistent encore, et de construire des centres de transfert et d'enfouissement modernes (décharges contrôlées). Le Programme National de Gestion des Déchets solides (PRONAGDES) a été mis en place à fin de mettre en œuvre l'objectif national de fermeture définitive de toute décharge sauvage à l'horizon 2011, et assoit une infrastructure primaire durable, organisée en centres d'enfouissement de déchets de grandes agglomérations et de villes côtières.

Les principaux objectifs du PRONAGDES sont :

- La prévention et la réduction de la production de déchets et de leur insalubrité.
- La valorisation des déchets par leur réutilisation et leur recyclage.
- Le stockage et le traitement des déchets dans des installations appropriées.
- La mise en œuvre de plans de gestion adaptés à chaque type de déchets.

Egalement, un système de récupération des emballages en plastique (ECOLEF) a été lancé en 1999. Dans un premier temps, il s'agissait d'encourager le tri volontaire et la collecte des déchets plastiques dans des conteneurs spéciaux puis la collecte a été rémunérée, avec l'appui des gouvernorats et des communes. Environ 85% du plastique issu des déchets domestiques est récupéré et valorisé. De 2001 à 2003, les centres de collecte sont passés de 90 à 200, en 2004-2005.

Toutefois, et malgré les efforts déployés, seuls 40% en moyenne des déchets solides urbains sont actuellement évacués dans des décharges contrôlées.

Aussi, la pollution industrielle engendrée par les eaux usées non traitées et les déchets solides demeure importante localement et sur tout le territoire du pays. Il est à noter que le cadre institutionnel en matière de gestion des déchets a été renforcé par la création en 2008 de l'Agence Nationale de Gestion des Déchets (ANGED).

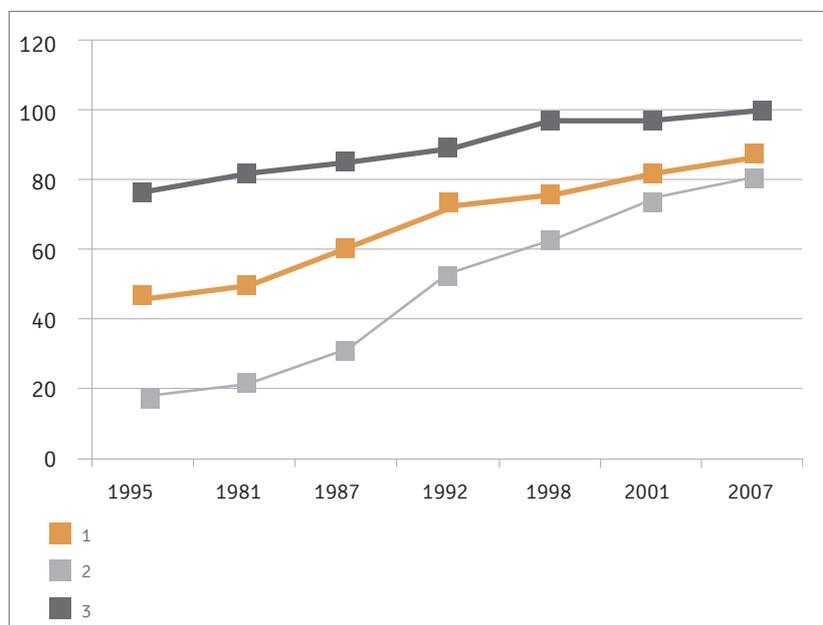
L'ANGED est devenue la principale institution publique responsable de la gestion des déchets solides, de la mise en œuvre du PRONAGDES, et de l'organisation des marchés pour la construction et l'exploitation des décharges contrôlées. Cependant, au niveau local, les municipalités demeurent responsables de la gestion des déchets solides, avec l'appui administratif des gouvernorats.

8.1.2 Gestion des eaux usées urbaines

Depuis sa fondation en 1974, l'Office National de l'Assainissement (ONAS) est en charge de la gestion des eaux usées urbaines. Le taux de branchement au réseau d'assainissement est de 86,8% pour un total de 1,38 millions d'abonnés. Le réseau s'étend sur plus de 13 844 km. Environ 98 Stations d'épuration des eaux usées (STEP) traitent un volume d'eaux usées collectées de 235 millions m³ (2007). L'ONAS accorde aussi une grande importance à la préservation de l'environnement. Plus de 95,6% des eaux usées collectées sont traitées (225 millions m³), dont environ 20% sont réutilisés pour l'irrigation des espaces verts.

Egalement, plusieurs programmes et initiatives ont été mis en place par le Ministère chargé de l'environnement et l'ONAS pour traiter de la pollution engendrée par les eaux usées d'origine industrielle, particulièrement la réalisation de stations d'épuration groupées dans certaines zones industrielles, et l'octroi d'incitations aux industriels pour réaliser leurs propres unités de prétraitement ou de traitement, via le Fonds de Dépollution (FODEP).

Evolution des taux de branchement aux réseaux d'eau potable et d'assainissement



(Source : ONAS)

1. Taux de branchement au réseau public d'assainissement dans les zones prises en charge par l'ONAS 2. Taux de branchement au réseau public d'assainissement en milieu urbain ; 3. Taux de branchement au réseau public d'eau potable en milieu urbain.

8.2 Identification des options d'atténuation dans le secteur des déchets

Deux grandes catégories d'actions de réduction des émissions de GES peuvent être distinguées:

- La réduction de la production des déchets à la source (contrôle des modes de consommation, collecte, tri en amont, etc.).
- L'amélioration des techniques de traitement des eaux usées et des déchets municipaux.

8.2.1 Déchets solides

Dans le secteur des déchets solides, trois actions majeures prévalent: le compostage (avec ou sans tri), la mise en torchère et la valorisation électrique du CH_4 . Le compostage est à envisager pour les déchets organiques, notamment les déchets agro-alimentaires, qui ont la particularité d'être non souillés. La valorisation électrique du méthane est à envisager dans les grandes décharges des zones

fortement urbanisées. La mise en torchère serait retenue pour les autres décharges.

• Option compostage

Le compostage, actuellement au stade semi-industriel en Tunisie, réduit considérablement la quantité globale de déchets organiques et par conséquent les émissions de CH_4 ; il permet également de rallonger la durée de vie des décharges contrôlées.

Compte tenu des besoins importants du pays en amendement organique, le compostage de déchets peut être réalisé sur des déchets non triés. Cependant, il nécessite la mise en place d'instruments d'incitations et de promotion du produit, permettant de rentabiliser les installations nécessaires.

La mise en œuvre de cette option implique la participation de nombreux acteurs: les producteurs de déchets, les agriculteurs, les collectivités locales, et les organismes publics concernés.

Les expériences pilotes menées en Tunisie ont largement aidé au développement de la technique et à son adaptation au contexte local.

- Option valorisation électrique des gaz de décharges

L'option de valorisation électrique du méthane est plus intéressante dans des décharges de grande capacité, pour des raisons de coût. Une faible proportion de l'électricité produite pourrait être utilisée pour les usages internes de la décharge, mais l'essentiel pourrait être injecté sur le réseau électrique et vendu à la Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (STEG). Les revenus issus de la vente permettraient de couvrir une partie des coûts de récupération du méthane et de production d'électricité.

- Option de récupération et mise en torchère des gaz de décharges

Même si elle ne comporte pas de sous-produits valorisables, cette option est techniquement simple et moins coûteuse que la valorisation électrique. Le méthane récupéré en torchère est brûlé.

L'option de mise en torchère a fait l'objet de deux projets MDP qui sont actuellement mis en œuvre par l'ANGED et financés par la Banque Internationale de Reconstruction et de Développement (BIRD) :

- Le projet de récupération et de mise en torchère du méthane à la décharge de Djebel Chekir, sur une période de crédit de 10 ans (2007 à 2016). Ce projet permettrait d'éviter des émissions de GES d'une quantité totale de 3 696 644 TE-CO₂.

- Le projet de récupération et de mise en torchères du méthane dans 9 décharges réparties sur tout le territoire national, sur une période de crédit de 10 ans. Ce projet permettrait d'éviter des émissions de GES d'une quantité totale de 3 179 092 TE-CO₂.

8.2.2 Déchets liquides

Pour les eaux usées, deux options existent : valorisation énergétique du biogaz (traitement anaérobie) et évitement du méthane par un traitement aérobie poussé.

- Valorisation énergétique du biogaz des STEP

Dans les cas de digestion anaérobie, la valorisation énergétique (thermique et électrique) du biogaz est la plus avantageuse. Cette technique a déjà été pratiquée dans une ancienne station de l'ONAS, et le projet d'extension de la station de Choutrana (Tunis

Nord) a été équipé d'installations de valorisation énergétique du biogaz.

La valorisation du biogaz implique une taille suffisante de la STEP. Le scénario d'atténuation étudiera l'impact d'une action volontariste envisageant une plus grande utilisation de cette technique dans toutes les grandes stations d'épuration.

- Traitement aérobie poussé

Pour les STEP de petite et moyenne taille, et en dépit de contraintes de coût et d'espace, il a été démontré que cette option permet de réduire de moitié les émissions de CH₄.

8.3 Mécanisme de Développement Propre dans le secteur des déchets

Plusieurs projets MDP ont été identifiés dont certains ont été approuvés par l'Autorité Nationale Désignée (AND) de la Tunisie. Deux d'entre eux sont en cours d'exécution (les projets de récupération et de mise en torchère du méthane dans la décharge contrôlée de Djebel Chekir et dans neuf autres décharges contrôlées).

Au total, 45 MTE-CO₂ pourraient être évités grâce aux 15 projets MDP envisagés dans le secteur des déchets solides, sur toute la durée de leur crédit (2008-2033). Pour la gestion des eaux usées, 80 opérations distinctes ont été identifiées ; elles sont cependant de petite taille, et ont donc été groupées en 19 projets MDP, dont 18 à des degrés divers de maturité. Ces projets permettraient, en cas de leur mise en œuvre, l'évitement de 5,9 MTE-CO₂ (durée de crédit : 2009-2023). 1,5 MTE-CO₂ pourraient être évitées durant la période 2008-2012. L'évitement total (pour toutes les STEP) est estimé à 0,39 MTE-CO₂ par an, ce qui représente environ 21 KTE-CO₂ par projet et par an.

8.4 Données de l'année de base (2000)

8.4.1 Données relatives aux déchets solides

La réalisation l'inventaire et des projections des émissions de GES dues à la gestion des déchets

solides nécessitent de connaître la production spécifique de déchets solides par habitant, la source des déchets (ordures ménagères, déchets verts, etc.), la fraction de déchets mise en décharge, la répartition des déchets selon le type de décharge et la structure des déchets par matière.

Il est à noter que ces données nécessaires ont été développées dans le cadre d'une étude nationale réalisée en 2006 portant sur l'élaboration d'un Plan directeur pour la valorisation des déchets organiques par compostage en Tunisie (ANGED, 2006).

8.4.2 Données relatives aux déchets liquides

Les données nécessaires au calcul des émissions de GES à partir des eaux usées incluent les capacités globales de traitement des eaux usées des STEP (nombre d'équivalent habitant et kg de DBO5/an), les volumes d'eau épurée et des boues digérées, mais également la répartition au cours de ces deux dernières, selon les procédés de traitement.

• Eaux usées urbaines

Les quantités d'eaux usées ont été estimées d'après les ratios annuels par personne et par jour, établis par l'ONAS. Ces quantités sont estimées à 433 686 x 365 m³/an pour l'année 2000.

Ces ratios annuels d'eau collectée par personne vont permettre également d'estimer les quantités d'eaux usées urbaines collectées et non traitées (10%), et celles qui émanent de la population urbaine non raccordée ainsi les quantités d'eaux usées produites en milieu rural.

La méthode utilisée pour l'évaluation des émissions de méthane à partir des eaux usées tient compte de facteurs pondérés de production de méthane, tel que recommandé par la méthodologie de l'IPCC (1996 ; révisée en 2006).

Il est à noter que la majorité des 60 STEP en exploitation utilisent des procédés de traitement aérobies, et ne produisent donc pas de CH₄. Pour l'année 2000, la quantité totale de DBO5 traitée, dans des conditions d'anaérobie, a été évaluée à 27,1

millions de kg, représentant 36,2% du total des boues traitées dans les STEP.

• Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles sont de deux catégories :

- Les eaux usées industrielles ayant subies un traitement primaire et rejetées dans le réseau de l'ONAS (environ 13 271 400 m³/an).

- Les eaux usées industrielles ayant subies un traitement secondaire, et rejetées dans le milieu naturel (14 154 700 m³/an).

Les procédés de traitement sont essentiellement le procédé physico-chimique (80%), et le procédé biologique (20%). Les émissions de CH₄ estimées pour les installations de traitement des eaux usées industrielles se sont révélées faibles par rapport aux valeurs trouvées pour les eaux usées domestiques traitées par l'ONAS.

8.4.3 Données relatives aux déchets humains

La quantité de N₂O émise par les matières fécales humaines a été estimée à 0,78 mille tonnes en 2000, correspondant à 242 KTE-CO₂, sur la base d'une consommation de 32,5 Kg de protéines par personne et par an, et pour une population totale de 9 563 500 habitants.

8.4.4 Rappel des émissions de GES de l'année 2000

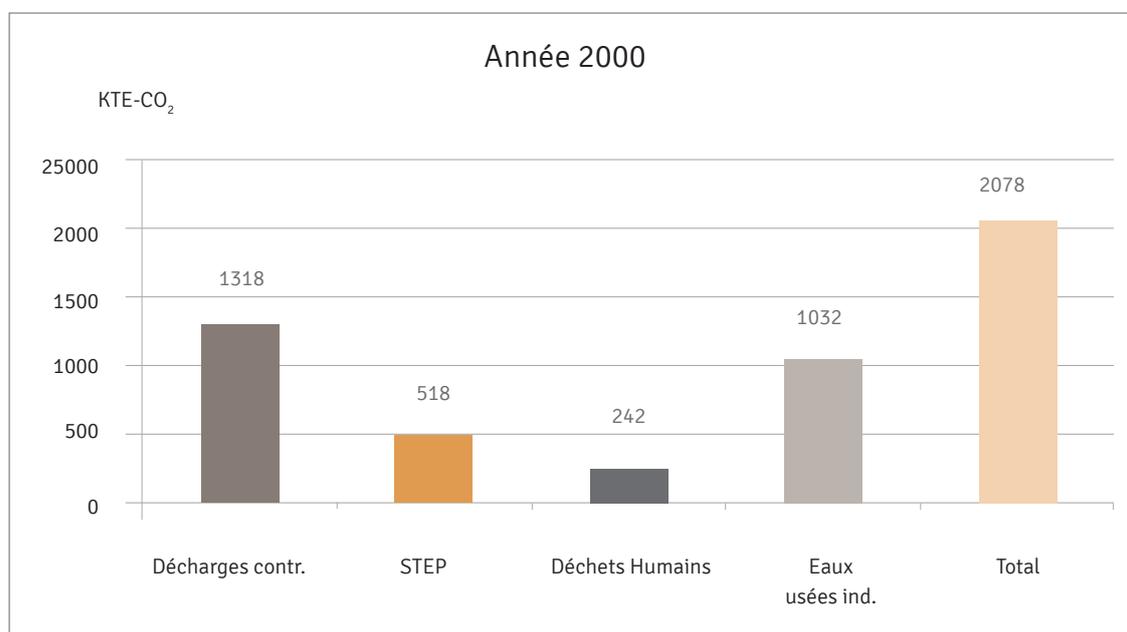
Les résultats de l'estimation des émissions de GES par les déchets en 2000 sont donnés dans le tableau et figure suivants.

Les émissions totales de GES (CH₄ et N₂O) en 2000 s'élèvent à environ 2,08 MTE-CO₂, essentiellement issues des déchets solides (61%) et des eaux usées domestiques (24%). Les émissions dues aux eaux usées et déchets humains ne sont pas négligeables.

Emissions de GES par source de déchets en 2000

	X 1000 TE-CO ₂ brutes	%
Déchets solides	1 318	60,97
Déchets liquides domestiques	518	23,96
Déchets liquides industriels	83,58	3,87
Déchets humains	241,8	11,2
Total déchets	2 078	100

Structure des émissions de GES du secteur des déchets, par source, en 2000



8.5 Scénario de référence

Les hypothèses de construction du scénario de référence concernent l'évolution à long terme des principaux facteurs influençant les émissions de GES dans le secteur des déchets. Ces facteurs sont de trois types : socio-économiques, ceux liés aux émissions des déchets solides, et ceux relevant des émissions d'eaux usées (domestiques et industrielles).

8.5.1 Evolution de la production des déchets solides

L'évolution de la nature et des quantités de déchets dépend de l'évolution de la consommation qui conditionne la production de ces déchets, mais également de la gestion en constante amélioration des déchets produits (centres de collecte, tri, centres de traitement, etc.).

• Projections existantes

Les travaux menés par l'ONAS et les études relatives à la gestion des déchets dans le cadre du PRONAGDES, pour différentes régions de la Tunisie, ont abouti à des taux d'accroissement de l'ordre de 1,2 à 2% par an des déchets produits à long terme. Le taux retenu dans le schéma directeur d'aménagement du territoire est de 1,5% par an.

Les quantités de déchets produits dans le pays proviennent des estimations de la population de l'an 2000 à l'échelle de la Tunisie et celles des villes dont les déchets sont stockés dans des décharges contrôlées. Les valeurs sont interpolées à partir des résultats du recensement statistique de la population en 2004, et des résultats de l'étude nationale réalisée en 2006 portant sur l'élaboration d'un Plan directeur pour la valorisation des déchets organiques par compostage en Tunisie (ANGED, 2006).

Dans cette étude, ont été calculées les quantités totales pour les déchets ménagers produits sur tout le territoire, pour les déchets de marchés et des espaces verts, considérés tous comme des déchets municipaux, pour les années 2004, 2009, 2014 et 2019. L'extrapolation d'une année à l'autre se fait en tenant compte :

- du taux de production spécifique de déchets ; et
- du taux d'accroissement global à l'échelle du pays, mais aussi par gouvernorat lorsque ceux-ci sont dotés de décharges contrôlées.

Les calculs donnent une production de déchets de 2065634 tonnes, 2592378 tonnes, 3147287 tonnes et 3811096 tonnes respectivement pour les années 2004, 2009, 2014 et 2019.

• Projection en matière de recyclage des déchets

La composition des déchets dépend des modes de consommation et de production de la société. Les tendances récentes vont dans le sens d'une baisse de la composante organique des déchets produits, au profit d'un emballage croissant en proportion, formé de plastiques, de papiers et de cartons. Ces derniers commencent à être récupérés et recyclés en Tunisie. L'exploitation de ce gisement nécessite des encouragements à l'avenir, mais risque de devoir relever de procédures volontaristes pour l'organisation de la collecte sélective et la réglementation dans ce domaine.

Pour le scénario de référence, seront considérées les tendances actuelles (croissance du gisement et progrès de la société), tout en tenant compte des actions et programmes publics actuels dans ce domaine (ECOLEF, projets pilotes de collecte sélective et de compostage des déchets). Les objectifs du Ministère chargé de l'environnement, tels que publiés en 2007, sont :

- Un taux de recyclage des matières organiques provenant des déchets ménagers de 10% et 15%, respectivement en 2011 et 2016.
- Un taux de recyclage des produits non biodégradables provenant des déchets ménagers de 15% et 20%, respectivement pour ces mêmes années.

On supposera que les quantités de déchets organiques de papiers et de cartons mis en décharge n'augmentent pas fortement, car récupérées à la source.

• Fraction de déchets mise en décharge

Cette quantité dépend du taux de couverture de la collecte municipale, de la composition des déchets par matière, et de l'importance du tri et de la collecte sélective.

La collecte des déchets s'améliore pour tendre vers une collecte pratiquement totale, à l'horizon 2020,

mais le taux de mise en décharge demeurera toujours inférieur à 100%.

Ainsi, l'ANGED prévoit des ratios de mise en décharge de 75% en 2000, 80% en 2010 et 90% en 2020.

• Répartition des déchets par type de décharge

Le programme instauré pour la gestion des déchets et leur mise en décharge prévoit la réalisation de décharges contrôlées pour l'ensemble des villes chef lieu de gouvernorats et dans les villes touristiques importantes. S'inscrivant dans le cadre des plans de développement économique et social quinquennaux de la période 1999-2011, ce programme envisage, dès 2015, d'augmenter les capacités des décharges contrôlées, par extension, afin de couvrir la production totale des déchets municipaux urbains.

Il est prévu d'éliminer toutes les décharges sauvages à l'horizon 2011 et de les remplacer par des décharges contrôlées.

D'après l'ANGED (2007), la part des déchets ménagers non valorisés qui seront mis en décharge, passera de 40% en 2006 à 95% en 2011 et à 100% en 2016. Ces pourcentages permettent d'extrapoler la production de déchets pour 2010 et 2020.

On notera que la création de décharges contrôlées contribuera à une forte augmentation des émissions de CH₄, qui pourront cependant être récupérées et torchées ou valorisées.

8.5.2 Facteur de production de déchets liquides

• Hypothèses de base

Le secteur de l'assainissement connaît des développements importants, en termes quantitatif (amélioration des taux de couverture) et qualitatif (technologies et disponibilités des infrastructures d'épuration).

Ainsi, l'ONAS prévoit un taux de branchement de 95% à l'horizon 2011 et de 100% à partir de 2017.

Egalement, l'ONAS compte mettre en œuvre des projets MDP de récupération de CH₄ et sa valorisation énergétique, et l'amélioration des systèmes de traitement dans nombre de STEP à sa charge. La

quantité totale récupérée sur la durée totale des projets permettra l'évitement de 5,9 MTE-CO₂ à un rythme de l'ordre de 394 KTE-CO₂ par an.

8.6 Projections des émissions de GES du Scénario de référence

Les hypothèses précédentes et les estimations de facteurs permettent d'effectuer des projections des émissions de GES, pour les horizons 2010 et 2020.

8.6.1 Résultats des projections du scénario de référence

- En 2010, les émissions totales de GES du secteur des déchets s'élèveraient à 4,7 MTE-CO₂, et en 2020 à 6,74 MTE-CO₂, contre 2,16 MTE-CO₂ en 2000.

- La plus grande partie des émissions provient des décharges : 61% en 2000, 70,5% en 2010, et 71,2% en 2020.

- Le traitement des eaux usées y compris industrielles, représenterait 21% et 20% en 2010 et en 2020, contre 28% en 2000.

- La contribution des déchets fécaux humains est réduite de 11% en 2000, à 6% et 5% en 2010 et 2020.

- Le ratio des émissions de GES par habitant passerait de 0,228 TE-CO₂ en 2000, à 0,444 TE-CO₂ en 2010, et à 0,600 TE-CO₂ en 2020.

8.6.2 Indications sur les résultats de simulation

Les émissions totales de GES par rapport au scénario de référence, vont croître modestement, sur la période 2000 à 2010, puis subir un léger infléchissement au cours de la décennie suivante. Parmi les raisons invoquées, on peut citer:

- le ralentissement de la croissance démographique dont le taux passerait de 1,1% à 1% environ entre 2000 et 2010, puis de 1% à 0,9% entre 2010 et 2020.

- La mise en exploitation des décharges contrôlées programmées qui permettra une production de méthane supplémentaire de 35%, par rapport au scénario sans décharges contrôlées.

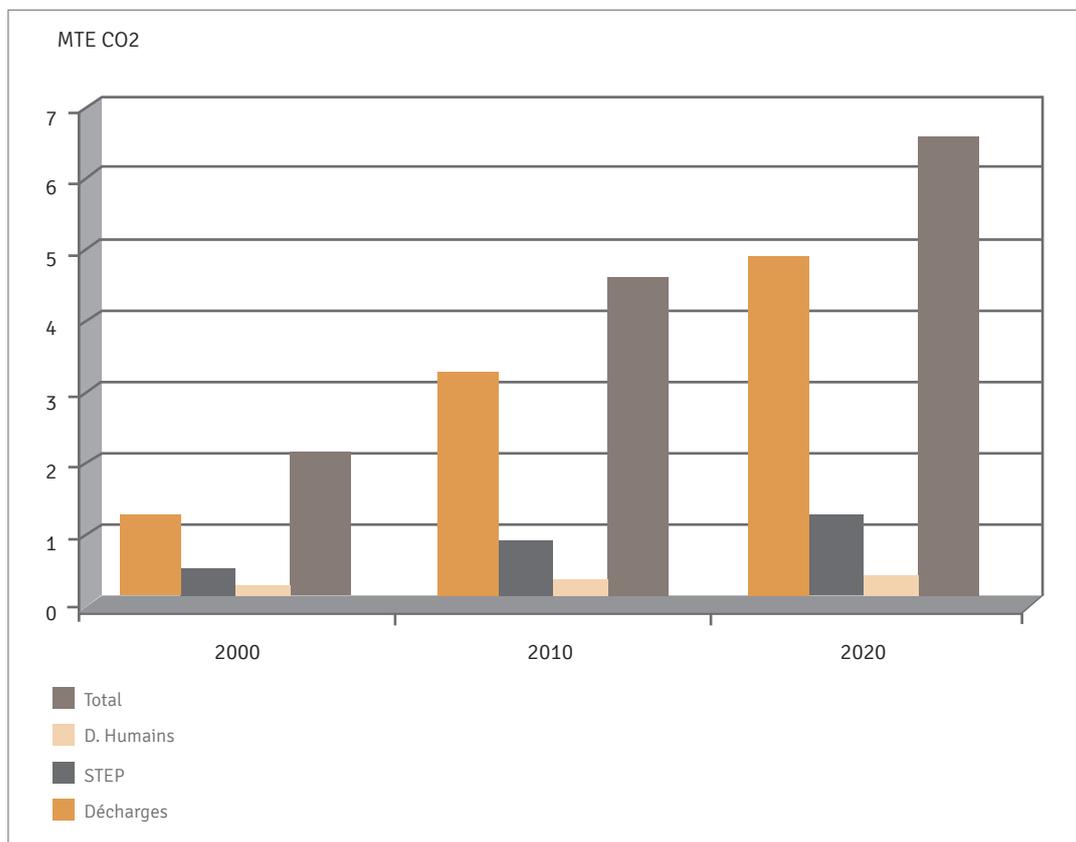
- Le développement du traitement anaérobie, qui demeurera cependant tributaire des coûts d'investissements et de la rentabilité des projets à envisager ; il pourrait se traduire par un accroissement de la production de biogaz de l'ordre de 10% à 15% dans les STEP, mais ne constituerait pas un enjeu économiquement pertinent.

- Les mutations des traditions de consommation, la prise de conscience des problèmes environnementaux, la réduction de la production de déchets à la source, le tri et le recyclage des déchets, etc. La fraction organique dégradable de ces déchets devrait décroître sensiblement.

8.6.3 Illustrations de la simulation dans le scénario de référence

Projection des émissions des GES du secteur déchets suivant le scénario de référence

Sources	2000	2010	2020
Décharges			
En 1000 TE-CO ₂	1318	3 377	5 021
En Gg de CH ₄	62,8	160,8	239,1
Stations d'épuration			
En 1000 TE-CO ₂	518	903	1260
En Gg de CH ₄	24,7	43	60
Eaux industrielles			
En 1000 TE-CO ₂	83,6	93	103
En Gg de CH ₄	3,98	4,43	4,9
Déchets humains			
En 1000 TE-CO ₂	242	294,5	350,3
En Gg de N ₂ O	0.78	0.95	1.13
TOTAL en 1000 TE-CO₂	2162	4667,5	6734,3

**Émissions totales de GES dues au secteur des déchets par source
du scénario de référence en MTE-CO₂**

Structure des émissions de GES du secteur déchets par source

SOURCES	2000	2010	2020
Décharges contrôlées	61%	72,4%	74,6%
Stations d'épuration (STEP)	28%	21,3%	20,2%
Déchets humains	11%	6,3%	5,2%
TOTAL	100%	100%	100%

Intensités des émissions de GES du secteur déchets (par habitant et par unité du PIB) suivant le scénario de référence

Intensité des émissions	2000	2010	2020
TE-CO₂/1000 habitants	226	444	600
TE-CO₂/1000DT de PIB	0,125	0,174	0,164
POPULATION (1000 hab.)	9 563,5	10 524	11 224
PIB (Milliards DT ; prix constants)	17 267	26 903	40 981

Accroissement des émissions de GES du secteur déchets Scénario de référence (indice base 2000 =100)

Sources	2000	2010	2020
Décharges contrôlées	100	256	381
Eaux usées	100	174	243
Déchets humains	100	111	123
Total	100	216	311
Population	100	110,5	117,4
PIB	100	156	237

8.7 Scénario d'atténuation

8.7.1 Evaluation quantitative des déchets

La récupération en amont (recyclage) et le compostage permettent de réduire les émissions de GES, ne laissant qu'une fraction à mettre en décharge. Les résultats pour le scénario d'atténuation sont les suivants pour 2010 et 2020 :

Destination ultime des déchets sous le scénario d'atténuation

Destination ultime des déchets	2010	2020
Fraction récupérée en amont pour recyclage (*)	15%	20%
Fraction de compostage(*)	10%	15%
Fraction mise en décharge(*)	75%	65%
Total	100%	100%

Quantités estimées d'après «la stratégie de gestion intégrée et durable des déchets » 2007-2016 ; ANGED (2007)

8.7.2 Hypothèses pour la valorisation/ récupération du méthane en décharge

Les options retenues de récupération/valorisation de méthane en décharge sont :

- la valorisation électrique, notamment dans les grandes décharges et la mise en torchère, et
- la mise en torchère dans les décharges de petite et moyenne taille.

8.7.3 Atténuation des émissions des déchets liquides

Deux options d'atténuation sont possibles :

- La valorisation énergétique (thermique/électrique) du biogaz issu des boues dans les stations à procédé anaérobie ;
- Le traitement aérobie dans les stations concernées.

8.7.4 Récapitulatif des mesures du scénario d'atténuation

Les tableaux suivants récapitulent les hypothèses du scénario d'atténuation par rapport au scénario de référence. Les données d'activités, retenues pour les déchets liquides dans le scénario d'atténuation, sont celles considérées dans le scénario de référence.

**Principales hypothèses pour le secteur des déchets solides
Scénario d'atténuation versus scénario de référence**

Variables	Scénario de référence		Scénario d'atténuation	
	2010	2020	2010	2020
Production totale de déchets (10³ tonnes)	2 713	3 959	2 713	3 959
Fraction récupérée pour recyclage en amont (10³ tonnes)			407	792
Fraction récupérée pour compostage (10³ tonnes)	0	0	271	593
Fraction mise en décharge (10³ tonnes)	2 713	3 959	2 035	2573
Proportion décharges contrôlées	95%	100%	95%	100%
Emissions traitées par l'opération de dégazage dans les décharges contrôlées (*)	0%	0%	90%	100%

(*) Source : ANGED, 2007

Hypothèses et données d'activités retenues pour les déchets liquides : Scénario d'atténuation

Variables	Scénario d'atténuation	
	2010	2020
DBO5 : kg/personne/an	25	30
Capacité des STEP en équivalent habitants (ONAS)	5 150 000	6 920 000
Volume total d'eau usée traitée en Millions m³ par an	269	370
Volume total de boues en Millions m³ par an (ONAS)	4 ,38	7 ,17
Répartition des eaux traitées par type de procédé	100%	100%

8.8 Simulation des émissions de GES sous le scénario d'atténuation

8.8.1 Emissions totales de GES en 2010 et 2020

- Les émissions totales de GES (CH₄ et N₂O) sous le scénario d'atténuation (scénario qui tient uniquement

compte des actions qui peuvent être mis en œuvre sans financement carbone dans le cadre du MDP) atteindraient 3,6 MTE-CO₂ en 2010, et 4,8 MTE-CO₂ en 2020. Ce scénario d'atténuation est ci-après désigné par Scénario sans mise en œuvre de projets MDP.

- Les émissions évitées déduites de la comparaison des scénarii de référence et d'atténuation s'élèveraient à 1,065 MTE-CO₂ en 2010, et à 1,91 MTE-CO₂ en 2020,

soit un taux cumulé de réduction de l'ordre de 21,1% en moyenne par rapport aux émissions du scénario de référence, correspondant à 19,6 MTE-CO₂ évitées.

- Les émissions évitées grâce aux divers projets MDP (décharges et eaux usées), en cas de leur réalisation, pourraient atteindre 1,15 MTE-CO₂ en 2010 et 2,26 MTE-CO₂ en 2020, avec un cumul global de 25,2 millions TE-CO₂ à l'horizon 2020.

- Si tous les projets MDP sont mis en œuvre, les émissions globales de GES seraient réduites à 48,37

MTE-CO₂ entre 2000 et 2020, ce qui représente une atténuation de 48,1% des émissions totales de GES par rapport au scénario de référence.

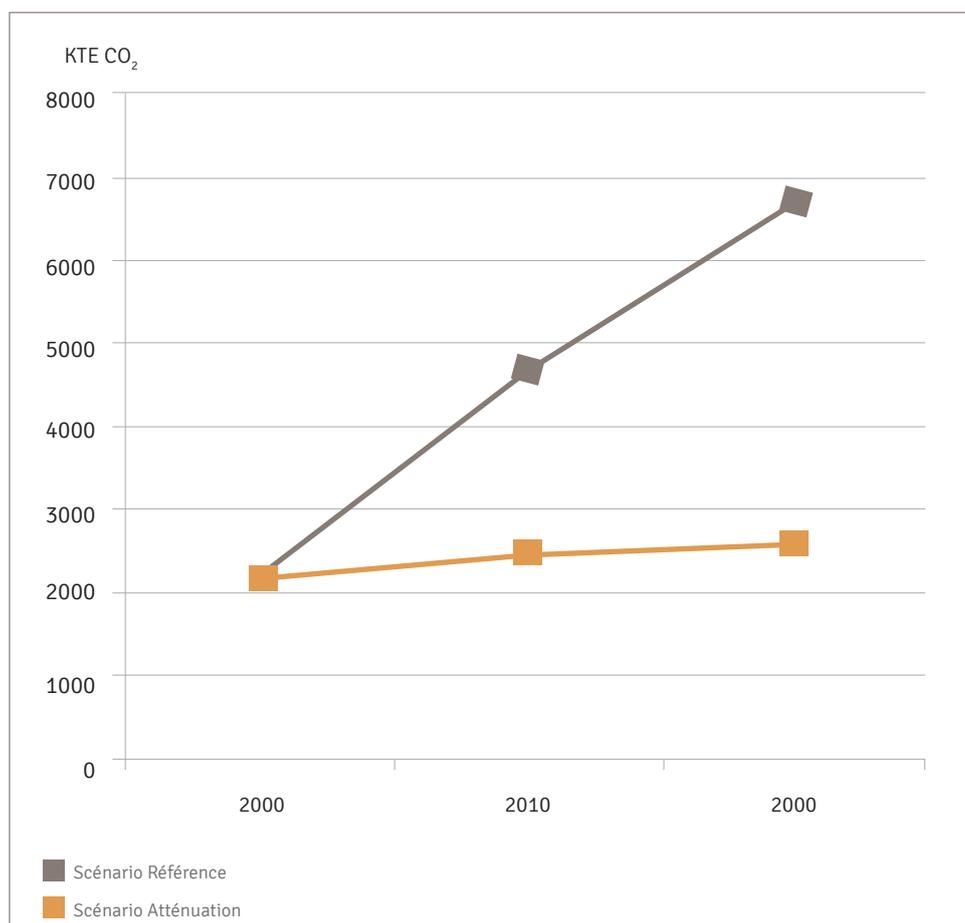
- La contribution à la réduction des émissions de GES est de 52% pour les projets MDP, 42% pour les décharges et de 10% pour les stations de traitement des eaux usées. En définitif, le bilan des émissions de GES du scénario d'atténuation s'élève à 2,45 MTE-CO₂ en 2010 et à 2,57 MTE-CO₂ en 2020.

**Emissions totales comparées des deux scénarios (de référence et d'atténuation)
en 1000 TE-CO₂**

	2000	2010	2020	Cumul 2000- 2020
Scénario de référence	2162	4667,5	6734,3	93 182
Emissions du scénario d'atténuation sans mise en œuvre de projets MDP	2 162	3603	4 825	73 552
Emissions de GES évitées sans projets MDP	-	1 065	1 909	19 630
Emissions de GES évitées avec projets MDP	-	1 151,7	2 255,1	25 185,2
- Atténuation dans le domaine des déchets solides	-	727,4	1 883,6	20 306,7
- Atténuation dans le domaine des eaux usées	-	424,3	371,5	4 878,5
Emissions totales de GES évitées	-	2 216	4 164	44 815
Scénario d'atténuation	-	2 451	2 570	48 367

(*) D'après l'étude Portefeuille MDP en Tunisie, 2008

**Evolution des émissions de GES à l'horizon 2020 dues au secteur des déchets
(Scénarios de référence et d'atténuation)**



04

Evaluation de la vulnérabilité, des impacts
du changement climatique et des mesures
d'adaptation en Tunisie

1. INTRODUCTION

Plusieurs travaux (dont ceux de *Giannakopoulos* et al. 2005) ont mis en exergue la vulnérabilité particulière de la région méditerranéenne face au changement climatique. En effet, il a été démontré qu'en cas d'une augmentation globale de la température moyenne de 2°C, cette région, à laquelle appartient la Tunisie, subirait un réchauffement de 1°C à 3°C. Ce réchauffement serait plus prononcé dans la zone continentale que côtière et prendra place pendant la saison estivale, essentiellement, sous forme de vagues de chaleur surtout dans le sud de la Méditerranée. Une baisse des précipitations serait le phénomène le plus marquant surtout en période estivale. Aussi, de longues et intenses périodes de sécheresses sont suspectes dans le sud, avec une forte variabilité et un déplacement des saisons.

En Tunisie, les études d'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique ont démontré, sans équivoque, que le pays subit déjà, et subirait pour longtemps, les impacts de ce phénomène planétaire, en particulier les impacts liés à l'augmentation des températures moyennes, la réduction des précipitations et l'élévation du niveau de la mer.

En effet, le changement climatique devrait, selon les études précitées, aggraver le stress hydrique, contribuer à la dégradation des écosystèmes et des agro-écosystèmes (production oléicole, arboriculture, élevage, grandes cultures, etc.) et accentuer la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, en particulier les sécheresses et les inondations.

Egalement, La Tunisie souffrirait d'une amplification des processus d'érosion, connaîtrait des étés plus chauds, des sécheresses plus fréquentes et plus fortes doublées de pluies intenses. Les températures plus chaudes assècheraient les sols et augmenteraient la salinité des réserves d'eau.

En outre, l'élévation accélérée du niveau de la mer, due au réchauffement climatique, aura des impacts graves sur le littoral, les écosystèmes côtiers, les

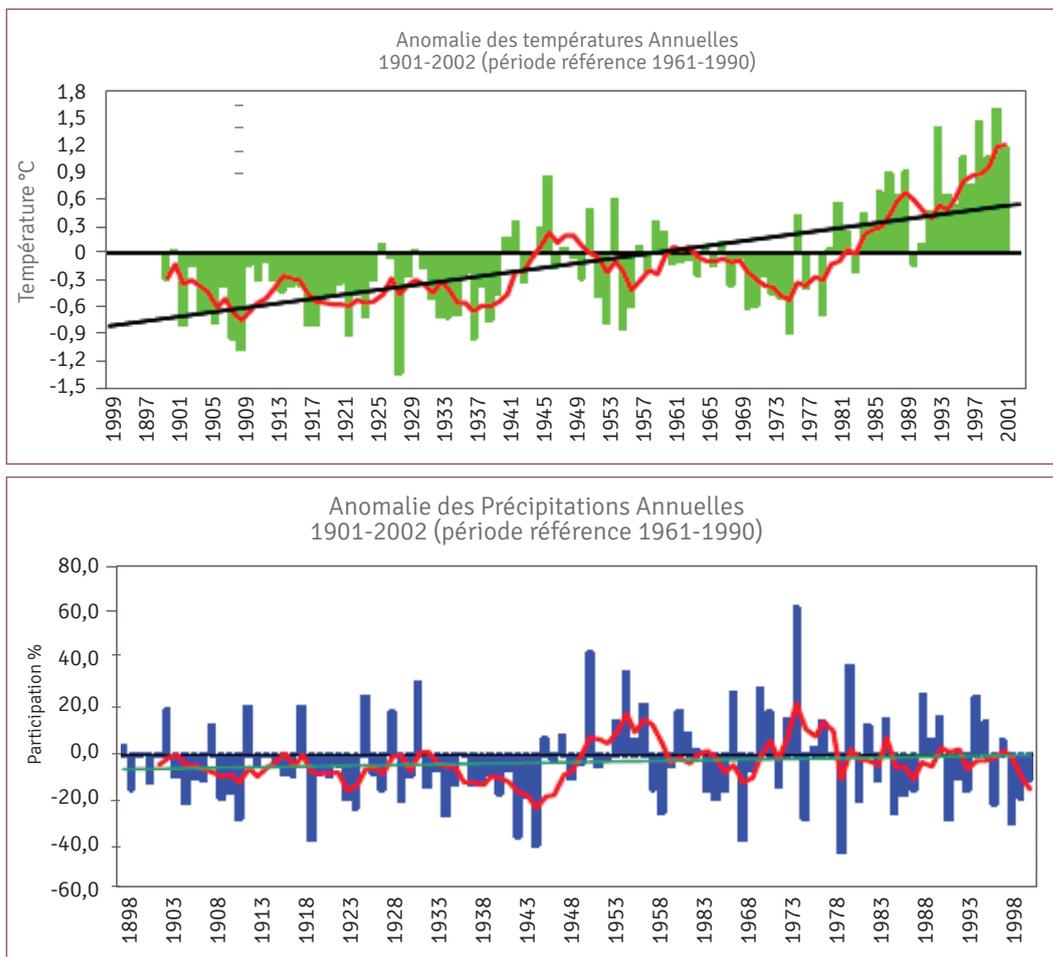
ressources naturelles et les infrastructures côtières. En somme, le changement climatique engendrerait des impacts néfastes majeurs sur les écosystèmes, la santé et l'économie (en particulier les secteurs agricole et touristique), et d'importantes répercussions sociales, surtout au niveau des populations pauvres à l'intérieur du pays, dont les revenus sont fortement dépendants des activités agricoles et de l'exploitation des ressources naturelles.

2. EVOLUTIONS OBSERVÉES DU CLIMAT DE LA TUNISIE

- **Tendances moyennes au cours du XXème siècle**
Concernant les températures, le point fondamental est une tendance significative à la hausse de +1.1°C au cours du XXème siècle, alors qu'à l'échelle globale, le Troisième Rapport d'Evaluation (TAR) de l'IPCC indique une élévation moyenne de la température de 0.6°C.

En ce qui concerne les précipitations, aucune tendance significative ne peut être notée. Toutefois, la période climatique considérée de référence (1961-1990) est caractérisée par une forte variabilité si l'on compare aux périodes 1931-1960 et 1901-1930.

Anomalies des températures et des précipitations moyennes au cours du XXème siècle en Tunisie



• Tendances des températures au cours des 50 dernières années

Cette analyse concerne des stations représentatives des différentes régions de la Tunisie, à savoir, Jendouba, Tunis, Kairouan, Gabès et Gafsa (L. King et al., 2005). Les augmentations des températures par décennie ont varié de +0.27°C pour Gabès, +0.26°C pour Jendouba, +0.28°C pour Gafsa, +0.36°C pour Tunis et +0.58°C pour Kairouan. Les coefficients des régressions R2 varient de 0.52 à 0.72 indiquant une bonne signification statistique. En comparant les deux périodes 1950-1975 et 1976-2004, on note des écarts des moyennes de la deuxième période par rapport à la première de +0.8°C pour Gabès, de +0.85°C pour Gafsa, de +0.96 pour Tunis, de +0.61°C pour Jendouba et de +1.17°C pour Kairouan.

3. PROJECTIONS DU CLIMAT EN TUNISIE AUX HORIZONS 2020 ET 2050

Méthodologie

• Choix du modèle et des scénarios

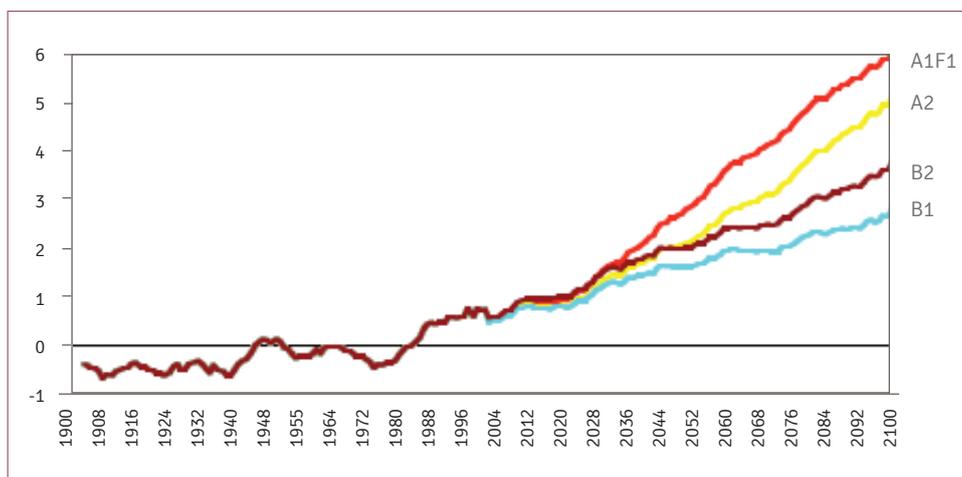
Le choix d'un modèle et des scénarios pour prévoir l'évolution du climat tunisien a reposé sur l'étude du Tyndall Centre concernant la Tunisie. Cette étude compare les résultats de quatre modèles SRES : les modèles canadien (CGCM2), australien (CSIROMk2), américain (DOEPCM) et britannique (HadCM3). Les scénarios extrêmes A1 et A1F1 ainsi que les scénarios moyens A2 et B2 du SRES ont été combinés avec les modèles cités. Ces projections montrent qu'à l'échelle annuelle, les modèles DOE et CSIRO donnent respectivement des résultats extrêmes plus bas et

plus haut. Les modèles CGCM et HadCM3 concluent à des augmentations des températures médianes de +3° C à l'horizon 2080. Le modèle HadCM3 donne les résultats les plus probables pour la Tunisie et le choix s'est donc logiquement porté sur ce dernier afin de projeter les températures et les précipitations aux horizons 2020 et 2050.

Parmi les quatre scénarios A1F1, B1, A2 et B2

disponibles, les scénarios moyens A2 et B2 ont été sélectionnés pour étudier la variabilité et les extrêmes. Ce choix a été effectué sur la base des tendances des températures observées au cours de la période 1950-2004. Remarquons que jusqu'à 2050, les quatre scénarios offrent des conclusions proches.

Elévation de la température (°C) selon les quatre scénarios A1F1 (scénario haut), A2, B2 (scénarios moyens) et B1 (scénario bas) de 1900 à 2100



• **Utilisation de la base de données du modèle HadCM3**
Le modèle HadCM3 utilise des mailles de 0.5° x 0.5°, soit pour la Tunisie un maillage de 55 km x 55 km et un ensemble de 56 mailles. L'output du modèle est une prévision des quantités mensuelles des précipitations et des niveaux de températures pour chaque maille. Les horizons temporels des projections sont 2020 (2011-2040) et 2050 (2041-2070), les variations des températures et des précipitations sont déterminées par rapport à la période de référence (1961-1990).

Résultats du modèle

• **Projections des températures moyennes annuelles et saisonnières aux horizons 2020 et 2050**

A l'horizon 2020, le modèle conclut à l'élévation générale des températures par rapport à la période de référence (1961-1990). L'augmentation moyenne annuelle sur l'ensemble du pays des scénarios A2

et B2 est de +1.1° C à l'horizon 2020 et de +2.1°C à l'horizon 2050. Le scénario bas B1 conclut à une augmentation moyenne des températures de +1.0°C en Tunisie à l'horizon 2020. Selon le scénario A2, trois zones peuvent être distingués :

1. La zone Nord, du Cap Bon et du Centre-Ouest où la température moyenne augmente relativement faiblement (+0.8°C).
2. La zone Sud-Ouest et de l'Extrême Sud où l'élévation des températures est plus importante (+1.3°C).
3. La zone allant de la limite du Nord-Ouest au Sud-Est (+1.0°C) où l'élévation de la température est moyenne.

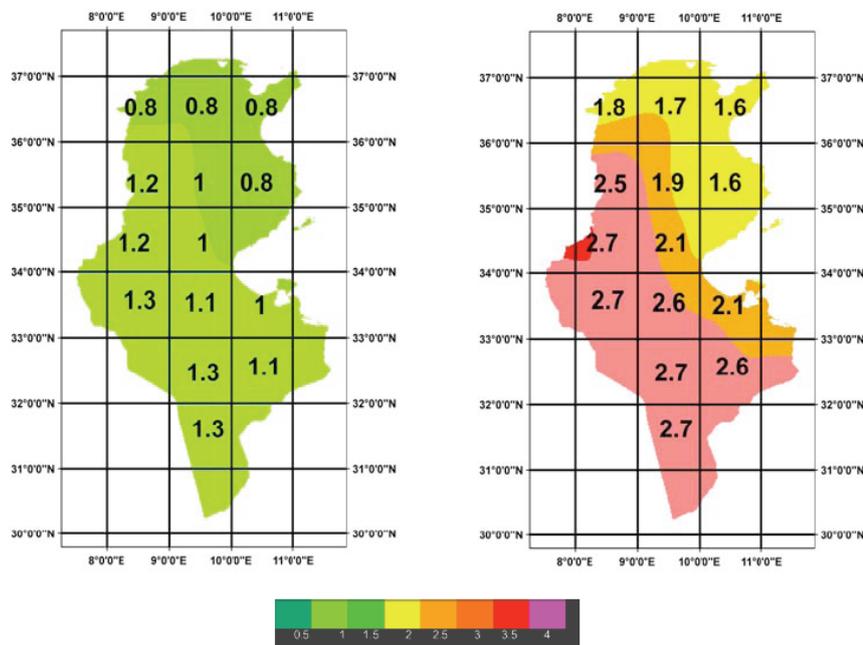
Le scénario B2 indique des tendances identiques bien que des élévations légèrement supérieures soient constatées (+0.9°C à +1.5°C). A l'horizon 2050, la tendance à la hausse de température s'accroît, allant de +1.6° C au Nord à +2.7° C au Sud.

L'examen des variations saisonnières montre que les températures estivales augmentent plus fortement (+0.9°C à +1.6°C) et les températures hivernales plus faiblement (+0.7°C à +1.0°C) à l'horizon 2020. L'automne et le printemps constituent des cas intermédiaires avec des augmentations respectives de (+0.9°C à +1.4°C) et de (+0.6°C à +1.2°C).

Le printemps connaît toutefois les modifications les plus importantes des zones d'augmentation entre 2020 et 2050.

Les élévations des températures projetées sont comparables et assez proches des projections climatiques des pays méditerranéens.

Élévations des températures (°C) moyennes annuelles du modèle HadCM3 (scénario A2) par rapport à la période de référence à l'horizon 2020 (gauche) et à l'horizon 2050 (droite)



(Source : Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eau, 2007)

• **Projections des précipitations moyennes annuelles et saisonnières aux horizons 2020 et 2050**

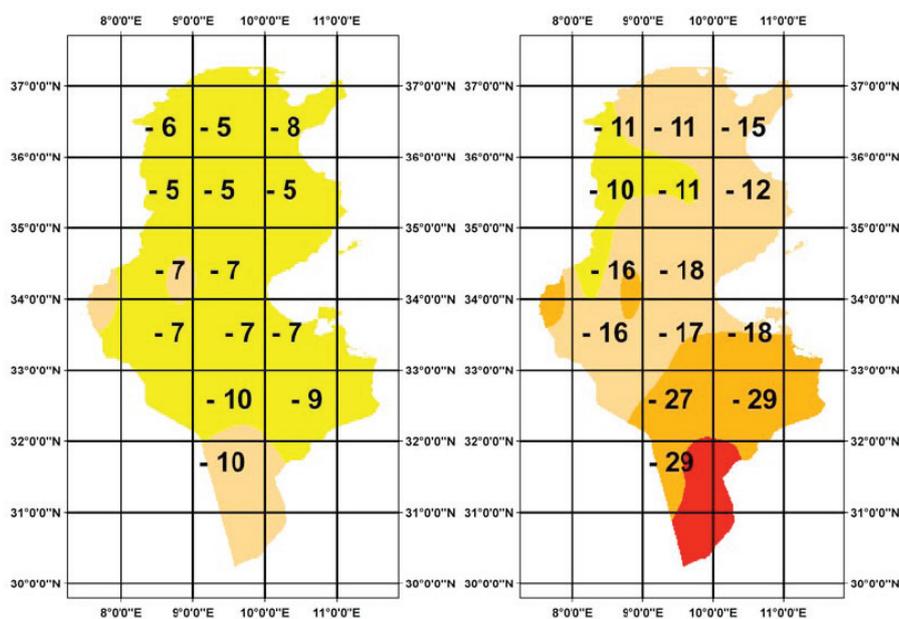
Le modèle montre une tendance générale à la baisse des précipitations moyennes. Cette baisse est modérée à l'horizon 2020, mais s'accroît à l'horizon 2050 pour le scénario B2. La diminution est de -5% au Nord, de -8% au Cap Bon et Nord-Est et de -10% à l'extrême Sud. Le scénario B2 prédit une tendance à la baisse légèrement plus faible (-4% au Nord à -8% à l'extrême Sud).

A l'horizon 2050, la baisse des précipitations s'accroît, elle varie alors de -10% au Nord-Ouest à -30% à l'extrême Sud. Trois zones se différencient :

l'extrême Ouest du pays connaît une faible diminution des précipitations (-10%), le Sud subit une plus forte baisse (-29%) comparativement au reste du pays dont la quantité de précipitations baisse de -12% à -16%.

Au niveau des variations saisonnières, l'hiver connaît la plus faible diminution des précipitations (0% à -7%) alors que l'été subit la baisse la plus forte (-8% à -40% du Nord à l'extrême Sud) à l'horizon 2020. La situation de l'automne et du printemps est intermédiaire avec une baisse des précipitations de -6% à -12% à l'extrême Sud. Les variations saisonnières sont généralement identiques à l'horizon 2050.

Baisses (%) des précipitations moyennes annuelles du modèle HadCM3 (scénario A2) par rapport à la période de référence à l'horizon 2020 (gauche) et à l'horizon 2050 (droite)



(Source : Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eau, 2007)

Conclusions-autres résultats

Les projections climatiques pour la Tunisie ont été construites sur la base des résultats du modèle HadCM3 aux horizons temporels 2020 et 2050. Les deux scénarios moyens les plus probables (A2 et B2) ont été privilégiés. Le scénario A2 a été retenu comme scénario de référence pour les groupes eau, agro-systèmes et écosystèmes.

Au niveau des projections climatiques, une élévation des températures moyennes annuelles et saisonnières est prévisible.

Des diminutions, généralement légères, des précipitations sont également possibles. Dans ces derniers cas, les incertitudes sont néanmoins plus fortes.

La variabilité des précipitations est également susceptible de baisser légèrement par rapport à la période de référence 1961-1990. Toutefois, celle-ci est susceptible d'augmenter de 5 à 10% au cours du 21ème siècle par rapport au 20e siècle. Enfin,

une tendance à une augmentation générale de la probabilité de sécheresse est également notable.

L'augmentation prévue des températures annuelles varie selon les régions et selon les scénarios.

Cette tendance s'accroît à l'horizon 2050. Concernant les saisons et pour les scénarios moyens, l'été connaît les augmentations les plus fortes et l'hiver les plus faibles. Il a été estimé qu'une élévation de 1°C de la température moyenne d'ici 2030 engendrerait – ceteris paribus, hors précipitations – un déplacement vers le Nord des zones bioclimatiques d'environ 100 à 150 km. Il est à noter également une élévation beaucoup plus importante des extrêmes, ce qui conduira des vagues de chaleur plus fréquentes durant l'été.

Une baisse des précipitations annuelles est constatée. Cette tendance s'accroît à l'horizon 2050 comparativement à l'horizon 2020. L'été connaît la baisse des précipitations la plus forte alors que l'hiver accueille les baisses les plus faibles. A l'horizon 2050,

les écarts entre le Nord et le Sud sont plus prononcés. A l'échelle régionale et à l'horizon 2030, la région du Nord connaît, selon les prévisions, les élévations des températures annuelles et saisonnières ainsi que les baisses des précipitations les plus faibles.

Le Centre est sujet à une élévation des températures plus importantes que dans la région Nord. La diminution des précipitations annuelles y est par contre légèrement plus importante.

Le Sud est sujet à l'élévation la plus importante des températures annuelles. La diminution des précipitations annuelles y est également forte. Les précipitations moyennes des années très humides baissent de même que celles des années très sèches. Une augmentation plus importante des années sèches ainsi que des successions de deux et de trois années est prévisible.

Ainsi, la sécheresse est le fait marquant de cette projection climatique, par l'augmentation du nombre et des intensités des années sèches qui devraient augmenter de 10% à 30% à l'horizon 2050. Avec une certaine disparité régionale, Le Nord-Ouest subirait la moindre accentuation de ce phénomène, alors que le Sud-Ouest subirait la plus forte.

4. VULNÉRABILITÉ DES RESSOURCES EN EAU FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

• Conclusions de l'analyse de vulnérabilité des ressources en eau en Tunisie

La connaissance actuelle des variables hydrologiques liées aux changements climatiques reste entachée d'incertitudes. Toutefois, sur la base d'une amorce de modélisation, on peut déduire que les ressources en eaux conventionnelles diminueront d'environ 28 % à l'horizon 2030. Cette diminution sera localisée au niveau des nappes phréatiques de fortes salinités, des nappes littorales et des nappes contenant des eaux non renouvelables. La diminution des eaux de surface avoisinera 5% à l'horizon 2030. La confrontation entre les ressources disponibles et la demande en eau montre que la satisfaction des besoins à l'horizon 2030 nécessite la mise en place de stratégies et de

programmes d'activités plus efficaces en termes de maîtrise de la gestion de l'eau. Un retard dans les programmes d'actions risquerait d'engendrer un déséquilibre et, par conséquent, un manque d'eau bien avant cette échéance. Ainsi, la gestion des barrages et la mise en place effective des différentes stratégies d'économie d'eau à toutes les échelles devraient jouer un rôle essentiel dans la disponibilité future de la ressource en eau. La minimisation des impacts des changements climatiques sur la ressource en eau nécessite donc l'amélioration de la gestion de la ressource en eau par l'adaptation via l'évolution des techniques, des traditions, des comportements et des usages.

• Etablissement des scénarios

La projection des ressources en eau, prenant en considération l'impact des changements climatiques, nécessite la connaissance du scénario d'évolution des ressources dans des conditions normales, c'est-à-dire sans considération des changements climatiques, afin de servir de scénario de référence.

L'objectif de la mobilisation des ressources est d'assurer la satisfaction des besoins des secteurs socioéconomiques. Par conséquent, trois scénarios ne considérant pas les impacts du changement climatique ont été construits.

La projection des ressources en eau permet de conclure, sur la base des différentes hypothèses émises, que les ressources en eau conventionnelles exploitables (c'est-à-dire disponibles pour l'usage) avoisineront 3 829 millions de m³ (Mm³) en 2030 pour autant que le programme de gestion de l'eau soit réalisé (hypothèse haute), de 3 170 Mm³ dans le cas où seule une partie du programme aboutirait (hypothèse moyenne) et 2 718 Mm³ si le programme n'est pas réalisé (hypothèse basse).

La mise à disposition de ressources en eau non conventionnelles est susceptible de renforcer les ressources exploitables. Il s'agit du dessalement de l'eau de mer (80 Mm³ en l'an 2030) et de l'utilisation de l'eau usée traitée (292 Mm³) pour les besoins agricoles. Au total, environ 4 201 Mm³ de ressource en eau seront en 2030 exploitables en Tunisie.

Les besoins en eau totaux à l'horizon 2030 sont projetés à environ 2911 Mm³ dans le cas de l'hypothèse basse (qui est aussi l'hypothèse stratégique), de 3 054 Mm³ pour l'hypothèse moyenne et de 3 743 Mm³ pour l'hypothèse haute. Les hypothèses du côté des besoins sont à nouveau définies selon le degré de réalisation des programmes.

Il est ainsi constaté que, selon le scénario des ressources exploitables appliquant tous les programmes de l'Etat pour la mobilisation des eaux, les besoins projetés, même les plus élevés, pourront être comblés à l'horizon 2030 (un excès de l'ordre de 11% du montant disponible est prévu). Cependant, dans le cas du scénario n'appliquant que parcimonieusement les programmes prévus, un manque d'eau est susceptible d'apparaître dès 2022 (et ceci, même si l'hypothèse basse du côté des besoins est retenue). De même, si les besoins en eau n'évoluent pas tels que prévus, l'écart entre les besoins et les ressources serait négatif dès 2015 dans le cas où les programmes de renforcement de la disponibilité de la ressource ne sont pas réalisés (hypothèse basse).

• Evolution des ressources en eau face aux extrêmes climatiques

Pour le cas de la Tunisie, le modèle climatique conclut que les années sèches seront légèrement plus sèches et que seul le Nord du pays sera légèrement plus humide (une augmentation de 3 %), alors que les autres zones seront moins humides. Le modèle reste cependant peu précis, ce qui est le propre des modèles climatiques actuels. Par exemple, une étude française reposant sur trois simulations produites par le modèle ARPEGE, confirme les incertitudes au niveau des précipitations et montre que, bien que la diminution des débits d'étiage soit simulée avec un maximum de confiance, l'évolution des débits de crue est plus incertaine car on y observe des diminutions et des augmentations avec une dispersion importante des changements de précipitation (selon les simulations climatiques).

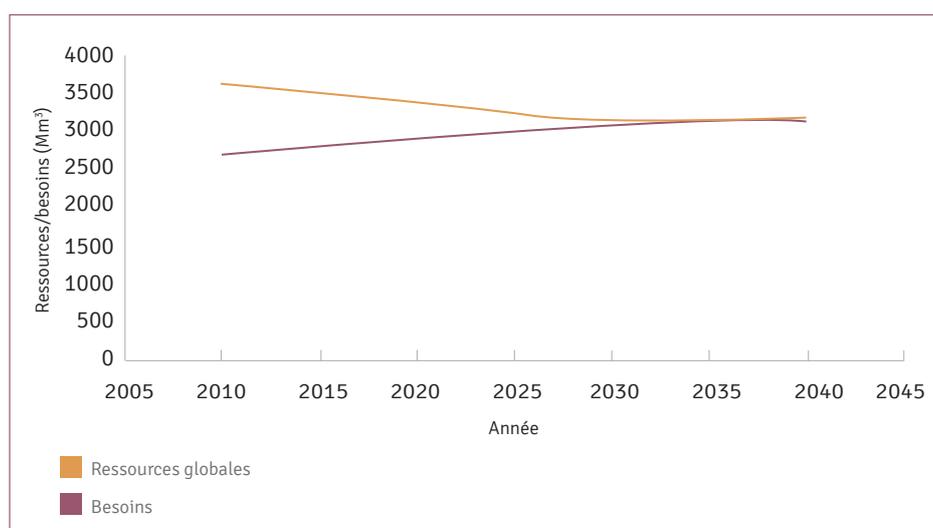
En plus des informations que nous avons pu déduire de la modélisation climatique, les apports au niveau des principaux barrages sur la période de 1947 à 2004

ont été analysés. Deux principales conclusions en ressortent. A) Les apports diminuent de 27 % durant la période de 1976 à 2004 par rapport à celle de 1947 à 1975. B) Les apports au niveau des barrages du Nord durant la période de 1976 à 2004 sont par contre supérieurs de 21% aux apports moyens calculés et connus à ce jour. Cette constatation confirme l'influence de l'homme, par la mise en place de ses différents ouvrages (barrages) sur les apports des bassins versants.

**Evolutions des ressources en eau en considérant le changement climatique
(en millions de m³ : Mm³)**

Désignation	2010			2020			2030		
	Potentiel	Mobilisé	exploitable	Potentiel	Mobilisé	exploitable	Potentiel	Mobilisé	exploitable
Grands barrages	2700	2121	1378	2700	2131	1385	2700	1890	1229
Nappes phréatiques	758	758	758	781	781	591	805	805	308
Nappes profondes	1544	1350	1350	1791	1535	1215	2079	1731	1214
Total eaux conventionnelles	5002	4229	3486	5272	2447	3191	5584	4426	2751
Eaux usées traitées	253	117	117	400	203	203	512	372	372
Eaux dessalées		18	18	0	47	47	0	80	80
Total eaux non conventionnelles	253	117	117	400	203	203	512	372	372
Total général	5255	4336	3603	5672	4650	3394	4798	4798	3123

(Source : Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eau, 2007)

**Evolution pressentie des ressources et des besoins en eaux face au
changement climatique en Tunisie**


(Source : Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eau, 2007)

5. VULNÉRABILITÉ DES ÉCOSYSTÈMES FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les écosystèmes tunisiens étudiés comprennent les forêts, les maquis et les garrigues, les parcours naturels, les zones humides et les terres non agricoles selon l'inventaire forestier.

Malgré leur résilience naturelle, les écosystèmes sont aujourd'hui dans un état de dégradation souvent avancé en raison de la pression des activités humaines qui s'exercent dessus. Les changements climatiques agissent comme un facteur d'accélération des processus à l'œuvre (dégradation des sols, appauvrissement des services écologiques rendus par les écosystèmes, etc.) que seule la confirmation des stratégies engagées permettrait de limiter.

Il a été choisi d'étudier plus précisément les vulnérabilités sylvo-pastorales et les stratégies qui leur sont associées dans cette partie plutôt que dans celle du secteur agricole car elles modèlent grandement les écosystèmes tunisiens.

5.1. Les impacts des changements climatiques sur les écosystèmes

L'étude d'adaptation au changement climatique des écosystèmes tunisiens (Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques/2007) a permis de dégager les principaux impacts suivants.

• Les impacts sur la forêt et les écosystèmes pastoraux (forestier et steppique)

La forêt et les parcours (formations forestières et steppiques) ont une forte emprise sur près de 47% de la surface agricole totale (SAT). Le troupeau national, constitué principalement de bovins, d'ovins, de caprins et de camelins utilise les parcours naturels.

Les productions fourragères varient selon la formation végétale, le bioclimat et les années mais leur rendement reste relativement modeste. Cette variabilité, conditionnée par les régimes pluviométriques, est susceptible de favoriser la surexploitation des parcours lors des années de faible pluviométrie, par les élevages dépendant habituellement des jachères et des chaumes. A

l'inverse, les années favorables permettent aux éleveurs d'augmenter leurs effectifs ce qui peut se traduire par une charge supplémentaire à l'hectare. L'une des raisons majeures de la dégradation du couvert végétal et de la diminution de sa capacité de production observée est ainsi due à l'augmentation des effectifs des troupeaux qui exercent une charge excessive sur le tapis végétal. La forêt est déséquilibrée, peu productive et a régressé en surface alors que les parcours steppiques du Centre et du Sud sont dans un état de dégradation avancée et fortement exposés à l'érosion. L'autre raison majeure est la fixation des pasteurs et le blocage de la transhumance.

De par sa capacité d'adaptation au changement climatique et les stratégies engagées par le ministère chargé de l'agriculture (forêts domaniales couvertes par le biais des plantations de maquis et garrigues), il est prévu qu'à l'horizon 2030, les forêts naturelles devraient augmenter en superficie. Toutefois, l'augmentation des températures pourrait rendre la biomasse inflammable et être à l'origine d'un accroissement des feux de forêts notamment dans le Nord de la Tunisie. Cela pourrait alors menacer directement certaines activités socio-économiques (menaces sur certains barrages, glissements de terrain, etc.).

Outre un risque d'incendie, on pourrait assister à une recrudescence des espèces invasives.

Les parcours naturels forestiers n'augmenteraient pas leur fonction productive mais seraient tout de même mieux gérés (stratégie de conservation des eaux et des sols).

Concernant les parcours steppiques du Centre et du Sud, des sécheresses plus fréquentes plus longues vont se traduire par des disponibilités fourragères fluctuantes.

Pour pallier de telles fluctuations, les éleveurs seraient contraints à une surexploitation des ressources disponibles. De tels usages ne peuvent qu'augmenter la fragilité de ces couverts végétaux éprouvés par des usages peu protecteurs de leurs capacités de régénération. Les troupeaux pourraient par ailleurs se rabattre sur les parcours du Nord, alourdissant ainsi la charge et le taux de surpâturage.

• **Les impacts du changement climatique sur les sols**

Les sols sont un élément fondamental du bon fonctionnement des écosystèmes et des agro-systèmes. La dégradation des sols est un fait en Tunisie. Les conditions naturelles, les pressions anthropiques (surpâturage, surexploitation des nappes) et le manque de gestion des ressources naturelles en sont les principales causes exposant ainsi les sols à de multiples risques (érosion hydrique et éolienne, salinisation, etc.). Cela favorise largement les processus de désertification menaçant ainsi l'existence même de certains écosystèmes.

Du fait de l'augmentation des sécheresses et des phénomènes extrêmes dus au changement climatique, et de la baisse du couvert végétal, certains sols pourraient s'éroder beaucoup plus facilement et diminuer grandement leur fertilité. Certaines terres aujourd'hui fertiles (exemple dans la zone du Tell tunisien) pourraient être plus sensibles à l'érosion.

• **Les impacts du changement climatique sur les zones humides**

L'élévation du niveau de la mer due au changement climatique entraînera la submersion de certaines terres basses humides entraînant incontestablement de nouveaux équilibres dans les écosystèmes, la création ou disparition de nouveaux paysages, la dégradation ou l'amélioration des conditions des milieux. L'avenir de ces zones est néanmoins fortement conditionné par les activités anthropiques à l'œuvre sur le littoral.

5.2. Analyse des programmes qui contribuent à l'adaptation des écosystèmes

De par ses attributions, le ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (MARH) est responsable de conserver les ressources naturelles, les promouvoir et de mieux les utiliser. Les stratégies de mobilisation et de protection des ressources conçues et mises en œuvre par les pouvoirs publics sont à interpréter, dans ce cadre, comme des tentatives de réconciliation entre les exigences du développement agricole et la protection des ressources concernées.

Le code forestier a été révisé en 1988. Le contenu

de cette révision a porté principalement sur des restrictions aux droits d'usage et sur la facilité d'intégration des populations dans le développement forestier.

Au début de la décennie précédente, est apparue la nécessité de tester les possibilités de collaboration entre les usagers des forêts et l'administration (Direction Générale de la Forêt : DGF). Il fut décidé d'inclure dix Opérations Pilotes de Développement Intégré (OPDI) dans le cadre du deuxième programme de développement forestier (PDF2). La mise en œuvre de ces opérations a été lente et les résultats obtenus sont en deçà des attentes. Elles ont, en revanche, permis de constater que la collaboration entre les services forestiers et les populations concernées est envisageable.

En prolongement à ces OPDI, des efforts ont été entrepris pour responsabiliser les usagers. Ces efforts montrent que ces derniers seraient prêts à protéger le milieu naturel à condition que les règles de gestion à adopter tiennent compte de leurs intérêts.

Des tentatives d'organisation des populations forestières sont effectuées. Depuis 1988, date de promulgation du nouveau code forestier, les activités de la DGF, dans ce domaine, ont porté sur la création et la structuration de 34 Associations Forestières d'Intérêt Collectif (AFIC) dont 26 disposent d'une reconnaissance légale. Ce n'est que 10 ans après la parution du code qu'il y a eu la création des premières AFIC.

• **Des actions de reboisement et d'amélioration pastorale indéniables**

Les plans d'aménagement de forêts couvraient 444 000 ha à la fin de l'année 2000, superficie qui devrait atteindre 510 000 ha sous peu du fait des études en cours. Une majorité de massifs en production est dotée de plans d'Aménagement. Peu de ces plans ont pu être mis en œuvre du fait qu'ils avaient été préparés sur des bases trop techniques sans suffisamment prendre en considération les usages des populations riveraines.

Les principales actions entreprises au cours de la dernière décennie concernent le reboisement sur

une superficie totale de 320 000 ha, la régénération des forêts naturelles, l'amélioration pastorale sur une surface de 97000 ha.

D'une manière générale, les taux de réalisation ont été particulièrement faibles. La non prise en compte d'une manière suffisante, par la stratégie, des problèmes des populations vivant dans la forêt serait à l'origine de ces faibles taux.

Faisant suite, d'une part, à une première stratégie ayant couvert la période 1990-2000, et d'autre part à la révision du code forestier en 1988, la deuxième stratégie, couvrant la période 2002-2011 qui est poursuivie au cours du XI^{ème} Plan de développement prévoit d'atteindre un taux de couverture végétal de 13% et la création d'associations supplémentaires d'usagers de la forêt.

- Des stratégies en faveur de la protection de la biodiversité et la lutte contre la désertification mais qui doivent être renforcées dans une perspective de changement climatique

Parmi les stratégies visant l'amélioration de la résilience des écosystèmes face aux changements climatiques, on notera les programmes de lutte contre la désertification à l'échelle nationale, régionale (PARLCD) et locale ainsi que la stratégie sur la biodiversité fondée sur la préservation des habitats des biotopes et des gènes, et une responsabilité partagée entre les utilisateurs des ressources et les bénéficiaires. Parmi les réalisations, on notera la création de 26 aires protégées (8 parcs nationaux) et la création d'une Banque nationale de gènes (sous la tutelle du ministère chargé de l'environnement).

En dépit des programmes de préservation mis en œuvre, les changements climatiques imposent de renforcer et de développer les dispositifs existants pour répondre aux enjeux de demain et atténuer les processus de dégradation des ressources.

La stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture et des écosystèmes (Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eau, 2007) s'oriente autour de trois axes stratégiques : réhabiliter les écosystèmes, placer une valeur économique sur les fonctions régulatrices des écosystèmes, valoriser les services environnementaux fournis par les écosystèmes.

Toutefois, peu sont les actions qui ont à ce jour été intégrées de manière efficace dans les stratégies sectorielles.

- Une politique de l'eau exemplaire mais ne considère pas suffisamment la contrainte du changement climatique

La gestion, la protection et la préservation des ressources en eau sont une priorité de la politique tunisienne dans les domaines du développement et de l'environnement, au regard de l'importance des pressions auxquelles ces ressources sont soumises.

La Tunisie est confrontée à une équation difficile qui consiste d'une part à répondre à une demande et des besoins sectoriels croissants et d'autre part, à protéger quantitativement et qualitativement la ressource en adoptant des techniques évoluées, capables de rationaliser la consommation et dégager des ressources hydriques additionnelles non conventionnelles.

D'importants efforts de mobilisation et de stockage de la ressource ont ainsi été réalisés à qui ont porté le taux de mobilisation de cette ressource à 95%.

Un programme d'alimentation artificielle des nappes souterraines a été mis en œuvre pour les protéger contre la salinité et l'abaissement du débit. Ainsi, 63 millions de m³ ont alimenté 20 nappes et permis d'améliorer leur qualité, surtout pour les nappes côtières.

Egalement, la stratégie de mobilisation des ressources hydriques vise à développer la gestion intégrée de ces ressources et la maîtrise de la demande, le développement de ressources non conventionnelles, et la protection des ressources hydriques contre la pollution et la surexploitation.

Fort de sa tradition culturelle « oasienne » de gestion de l'eau, la Tunisie s'est ainsi engagée précocement dans un programme national d'économie d'eau (passage à une approche intégrée, appui à la création d'associations d'usagers, incitations financières pour la promotion de technologies économes en eau, généralisation des techniques d'irrigation localisée plus efficaces, etc.).

La rareté a également conduit la Tunisie à développer très tôt les ressources hydriques non conventionnelles aussi bien par le dessalement des eaux saumâtres que par le traitement et la valorisation des eaux usées. 40 % de la superficie globale des zones irriguées utilisent aujourd'hui les eaux saumâtres.

D'autre part, la tarification de l'eau (agricole et potable) est l'instrument économique qui a été privilégié par les politiques agricoles pour la gestion de la demande et l'amélioration de l'efficacité allocutive de la ressource.

Alors que la Tunisie se rapproche des taux de mobilisation totale de ses ressources, le changement climatique devrait donc accroître et accélérer les pressions sur l'eau et faire monter la compétition entre les différents secteurs.

Si globalement la politique et les outils de gestion de l'eau sont complets, on constate néanmoins un manque de prise en charge de la contrainte « additionnelle » du changement climatique tant au niveau institutionnel, qu'au niveau économique ou bien encore transversal (dans sa relation avec les autres secteurs).

En plus des besoins de recherche, d'autres insuffisances dans la stratégie actuelle sont constatées : Le programme de gestion de l'eau (par bassin versant), ne tient pas suffisamment compte des écosystèmes et de leurs services environnementaux (recharge des aquifères, conservation des sols,

filtrage, etc.). Par ailleurs, même si le code des Eaux est un outil complet, il est insuffisamment tourné vers un contrôle rigoureux de la maîtrise de la demande en eau. Cela révèle notamment des failles en termes de gouvernance : le rôle et le partage des tâches entre les différentes administrations ne sont par toujours clairs. Ce code est aujourd'hui en cours de reformulation. Il y a donc là une opportunité de renforcer la gouvernance de l'eau sous l'angle des enjeux climatiques.

6. VULNÉRABILITÉ DU SECTEUR AGRICOLE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

En signant des accords commerciaux avec ses principaux partenaires et en adhérant à l'OMC, la Tunisie a initié l'ouverture de son économie sur l'extérieur et, par voie de conséquence, celle de son secteur agricole. Une telle ouverture mettra en difficulté les systèmes de production agricole les moins compétitifs, profitant actuellement du soutien public le plus élevé, mais pourra aussi avoir un effet d'expansion sur certaines activités exportatrices.

• Hypothèses de croissance

Les taux de croissance retenus par le planificateur jusqu'à l'horizon 2016 et qui ont été prolongés jusqu'en 2030 sont indiqués dans le tableau suivant :

Evolution des taux de croissance du secteur de l'agriculture sur la période 2002-2030

Périodes	2002-2006	2007-2011	2012-2016	2017-2030
Ensemble de l'économie	4.70%	6.10%	6.50%	6.50%
Agriculture	2.52%	3.12%	3.45%	3.45%

Source : Ministère du Développement et de la Coopération Internationale (MDCI), Tunisie

Scénarios d'ouverture économique

Deux scénarios de libéralisation de l'économie tunisienne ont été retenus pour projeter le développement du secteur agricole aux horizons 2016 et 2030. Les deux scénarios considèrent une ouverture totale de l'économie tunisienne à l'horizon 2030 et la suppression de toutes les barrières à l'échange à l'échelle internationale. Les deux scénarios se distinguent par le rythme de la mise en œuvre de l'ouverture.

Le premier scénario simule un rythme d'ouverture lent tandis que le second suppose une levée rapide des entraves au commerce international. Les contenus de ces deux scénarios se présentent comme suit:

a- Scénario 1 : ouverture lente

- Réduction du taux de protection à l'importation de 50% à l'horizon 2016.
- Maintien des subventions à l'exportation jusqu'en 2016.
- Élimination des protections entre 2017 et 2030.

b- Scénario 2 : ouverture rapide

- Réduction du taux de protection à l'importation de 50% à l'horizon 2016.
- Réduction des subventions à l'exportation à hauteur de 50% à l'horizon 2016.
- Élimination des protections entre 2017 et 2030.

Appréciation quantitative des impacts du forçage économique

Les conséquences de la libéralisation des échanges

ont été évaluées selon les scénarios proposés sur l'occupation des sols, les besoins en eau, le PIB agricole et le bien-être. Ces simulations ont été réalisées à l'aide d'un modèle sectoriel de l'agriculture tunisienne. La structure de ce modèle présente une offre régionalisée. Sept régions agro-naturelles sont distinguées. Pour traduire la diversité des conditions de production, trois à cinq systèmes de production ont été identifiés au sein de chacune des régions définies. Au total, vingt-cinq exploitations-types ont été retenues (Bachta et al. 2004).

Les conséquences de la libéralisation des échanges ont donc été évaluées par le biais des scénarios de réformes des politiques de commerce extérieur sur le secteur agricole retenu. Les résultats attendus ont concerné les variables suivantes :

- L'occupation du sol.
- L'utilisation des ressources naturelles et notamment l'eau d'irrigation.
- Les niveaux de rendement et ceux du PIB agricole.
- Le surplus des producteurs et des consommateurs.
- Le surplus social.

Occupation du sol par les cultures

Les variations attendues de l'occupation du sol ont été inspirées d'un modèle sectoriel datant de 2003, comme indiqué par le tableau qui suit. Les baisses présentées sont supposées se réaliser à l'horizon 2016. A l'horizon 2030, l'hypothèse retenue considère que la baisse observée en 2016 doublera.

Variations attendues des superficies sous ouverture de l'économie

Occupation du sol	Scénario 1	Scénario 2
Céréales	-15.42%	-14.84%
Cultures maraîchères	-0.95%	-1.86%
Légumineuses	8.68%	9.37%
Fourrages	-5.14%	-5.15%
Arboriculture	Superficies supposées fixes	

(Source : Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eau, 2007)

La variation la plus notable concerne les emblavures céréalières dont la superficie passerait de 1 450 000 ha en moyenne actuellement à 1 020 000 ha environ en 2030, soit une baisse d'environ 30%, tant pour le scénario 1 que pour le 2. Une telle diminution est confirmée par d'autres études qui ont estimé à près de 900 000 ha les surfaces des terres à vocation céréalière.

• Cultures irriguées et leurs besoins en eau

Les prévisions montrent que les superficies irriguées diminueraient légèrement (pour passer d'environ 389 000 ha durant la période 2006-2011, à 376 000 ha en 2030, selon l'hypothèse d'ouverture lente et, dans le cas du scénario 2, de 388 000 ha à 376 000 ha en 2030).

Les besoins en eau d'irrigation à la parcelle atteindraient environ 1.2 milliard de m³, en 2030, quel que soit le scénario envisagé. Cette demande d'eau est à comparer avec les disponibilités déduites de la projection des ressources hydriques sous le forçage climatique.

• PIB agricole

Le PIB agricole, suite à la baisse des superficies et pour des rendements identiques à la situation de référence, accuserait une diminution de 2.5% en 2011, 4.1% en 2016 et 5.1% en 2030 selon le scénario 1. Cette baisse serait respectivement de 2.9% en 2011, de 3.1% en 2016 et de 9.6% en 2030 selon le scénario 2.

• Effets de l'ouverture sur le bien-être (au niveau des producteurs)

L'analyse des effets sur le bien-être des producteurs a été conduite selon deux critères d'évaluation. Le premier a considéré le revenu d'un nombre d'exploitations types supposées être représentatives de l'ensemble des unités de production. Le second a considéré le surplus des producteurs ; il est donc de nature plus agrégée et devrait permettre d'apprécier les effets sur l'ensemble des producteurs considérés.

• Impacts sur les revenus des exploitants

Pour les deux scénarios, on peut retenir que les

exploitations qui sont concernées par les baisses de revenu sont celles qui pratiquent une agriculture extensive et disposent de structures de production peu équilibrées. Ces exploitations étant localisées sur les terres en pente ou sur des parcours, leur existence se justifie essentiellement par des considérations sociales.

Pour les deux scénarios, on peut donc retenir que les exploitations concernées par les baisses de revenu sont celles menées en extensif et ayant des structures de production peu équilibrées. Les superficies concernées totalisent 578'600 ha et se répartissent comme suit :

- Kroumirie (extrême Nord / Jendouba) : 28 100 ha
- Centre (basses steppes / Sidi Bouzid) : 384 300 ha
- Dorsale (hautes steppes et zones montagneuses / Kasserine) : 166 200 ha

Ce potentiel édaphique, des plus menacés par l'érosion, est à « restituer aux écosystèmes » pour une valorisation environnementale, ne serait ce que partiellement. La reconversion de ces superficies suppose la mise au point de schémas d'aménagement prenant en compte à la fois la fragilité des sols et la faible performance des systèmes de production. Ces sols pourraient, sous les effets du forçage climatique présenté plus loin, servir pour la constitution de réserves fourragères exploitables durant les années de sécheresse.

• Impacts en termes de surplus du producteur

Au vu des résultats des deux scénarios, on peut constater l'existence d'exploitations qui connaîtraient d'importantes baisses de revenus alors que d'autres verraient leurs revenus augmenter. L'analyse montre que la variation du surplus des producteurs, dans les deux scénarios, demeure négative. En d'autres termes, les pertes enregistrées par certaines exploitations ne peuvent pas être compensées par les gains des exploitations plus compétitives.

• Le surplus social

Le surplus social traduit l'agrégation des effets de l'ouverture économique sur les deux groupes d'agents

économiques, consommateurs et producteurs. D'une manière plus précise, le surplus social correspond à la somme du surplus des producteurs et du surplus des consommateurs. Ce surplus accuse un accroissement de 0.78% dans le cas du scénario 1, contre un accroissement de 11.51% pour le scénario 2. Cette amélioration est due à l'augmentation du surplus des consommateurs qui disposeront de biens moins chers. Autrement dit, l'ouverture de l'économie tunisienne devrait s'accompagner d'une amélioration du bien-être global. En revanche, elle posera vraisemblablement des problèmes de répartition de ce surplus entre les agents.

Projection du secteur sous forçage climatique

• Contenu du forçage climatique considéré

Les projections climatiques (King et al. 2006) donnent, avec les réserves d'usage, une tendance à l'horizon 2030 à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des années extrêmes sèches. Pour les années humides, le Nord-Ouest bénéficierait d'une légère augmentation des précipitations. Pour la température moyenne annuelle et saisonnière à l'horizon 2020, le modèle conclut à l'élévation générale des températures par rapport à la période référence (1961-1990).

Pour l'analyse de ces changements sur les agro-systèmes, on suppose qu'ils se traduisent par l'avènement d'événements climatiques extrêmes répétitifs (sécheresses et inondations). En ce qui concerne le réchauffement projeté, exprimé en termes de hausses des températures extrêmes, ces dernières sont supposées être en deçà des maximums végétatifs des cultures pratiquées. Par conséquent, les cultures observées seraient physiologiquement en mesure de supporter les hausses anticipées.

Les événements extrêmes retenus ici sont relatifs à une succession de sécheresse et d'années pluvieuses durant deux années, au Nord, et trois années sur le reste du pays. Une année est considérée comme sèche si la pluviométrie reçue est égale ou inférieure à 50 % de la moyenne calculée sur cinquante ans. Une année est en revanche considérée comme pluvieuse

si les précipitations enregistrées sont au moins équivalentes à 1.5 fois la moyenne observée durant cinquante années.

Ces événements sont interprétés comme une accentuation de la variabilité climatique actuellement observée. Une telle interprétation permet de déduire, par majoration, les effets directs des calamités naturelles enregistrées de nos jours. C'est ainsi que les effets des sécheresses prennent comme point de départ les pertes, durant les mauvaises années, de production des cultures céréalières et de capital productif de l'arboriculture pluviale et du cheptel vif, notamment dans les régions du Centre et du Sud.

Les zones historiquement inondables en cas de bonnes années permettent d'approcher les effets directs des augmentations anticipées des précipitations.

• Effets directs du forçage climatique

Cas de sécheresse

Suite à une sécheresse, les cultures pluviales sont les plus affectées, les ressources en eau mobilisées n'étant plus supposées couvrir les besoins des cultures irriguées (Lahache, 2006). Les spéculations concernent la céréaliculture en pluvial, l'arboriculture non irriguée et l'élevage. Les hypothèses retenues pour l'estimation de ces effets sont les suivantes :

- Les superficies des cultures céréalières connaîtront une baisse d'environ 200 000 ha, réparties selon les régions au prorata de leur importance relative actuelle. Ces baisses concernent essentiellement les régions du Centre et du Sud.

- La superficie de l'arboriculture baissera à concurrence de 800 000 ha environ. Cette baisse est répartie selon les espèces fruitières menées en sec en fonction de leur importance relative à l'échelle nationale, notamment dans les régions du Centre et du Sud.

- L'effectif du cheptel (bovin, ovin et caprin) baissera d'environ 80% dans le Centre et le Sud, contre 20 % dans le Nord.

Cas d'années à pluviométrie favorable

Suite à des années à pluviométrie favorable, on suppose que les zones basses connaissent une situation

d'hydromorphie (Marjas du début du siècle dernier) rendant la pratique des cultures maraîchères difficile, notamment en hiver. Les superficies de ces cultures baisseraient d'environ 50 000 ha. Celles des cultures pluviales (céréales et arboriculture) bénéficieraient d'une augmentation des rendements à concurrence de 20%. L'élevage bénéficierait également d'une hausse de son rendement à concurrence de 10%.

Evaluation des impacts du forçage climatique en cas de sécheresse

La projection des effets quantitatifs de la sécheresse (succession d'années sèches) sur le secteur agricole est élaborée pour les horizons temporels 2016 et 2030. L'avènement de ces événements extrêmes est considéré pour les deux scénarios d'ouverture. Les variables projetées sont l'occupation des sols, les productions agricoles et le PIB agricole.

• Occupation du sol par les cultures

En cas d'ouverture lente, les superficies des céréales passeraient de 1 229 000 ha à environ 1 027 000 ha, soit une baisse de 16 %, en 2016. Ces superficies passeraient de 1 021 000 ha à 854 000 ha en 2030, soit une baisse de 20 %. Les superficies d'oléiculture, par exemple, évolueraient de 1 568 000 ha à 941 000 ha, suite aux mêmes événements, en 2016, soit une baisse de 40% environ.

En cas d'ouverture rapide, les superficies céréalières et arboricoles diminueraient au même rythme qu'en cas d'ouverture lente.

• Niveaux des productions

Pour le scénario anticipant une ouverture économique lente, les productions des céréales en sec passeraient de 2 009 450 tonnes à 1 169 450 mille tonnes en 2016, soit une baisse de 42%. En 2030, ces productions évolueraient de 1 971 720 à 1 095 610 tonnes, soit une baisse de 44%.

La production oléicole passerait de 815 920 tonnes à 391 640 tonnes en 2016 et de 856 710 tonnes à 411 220 tonnes en 2030, soit une baisse de 52%. La production de viande (en vif) accuserait finalement une baisse de 33 à 66%, en fonction de l'espèce animale.

En scénario d'ouverture rapide, l'effet de la sécheresse s'accompagnerait d'une baisse de la production des céréales, en pluvial, à concurrence de 42% en 2016 et de 44% en 2030.

La production oléicole en sec accuserait une baisse de 52 % pour les deux horizons. La production animale diminuerait de 34% en 2016, contre une baisse de 36 à 49%, respectivement, pour les espèces ovines et caprines.

• PIB agricole

Dans le cas anticipant une ouverture lente, le PIB agricole passerait de 3 191 millions de dinars à 2 512 millions de dinars en 2016 et de 3 294 millions de dinars à 2 547 millions de dinars en 2030.

7. LA STRATÉGIE NATIONALE D'ADAPTATION DU SECTEUR AGRICOLE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La stratégie agricole, basée sur des impératifs de croissance et d'ouverture économiques, appuyée par des investissements publics coûteux et souvent peu rentables, a permis de réaliser un accroissement indéniable des productions agricoles (développement des cultures intensives, machinisme, etc.) et de répondre ainsi aux exigences économique et de sécurité alimentaire.

Toutefois, la durabilité de l'activité est largement conditionnée par la conservation des ressources environnementales que sont l'eau et le sol. Or, en dépit d'une intervention publique forte, celle-ci n'est pas parvenue à instaurer un cadre institutionnel conciliant préservation des ressources naturelles et développement de l'activité agricole, intérêts collectifs et intérêts privés, ce qui s'est manifesté par une dégradation avancée des ressources communes. A titre d'exemple, la conservation des eaux et des sols a vu sa part baisser d'une manière significative dans les investissements agricoles, en passant de près de 12% au cours de la période allant de 1987 à 2006 à 5% durant les trois premières années de XIème plan de développement économique et social. Autrement dit, une réconciliation des exigences du développement

du secteur agricole et de la protection des ressources exploitées reste à faire. Aussi, il va falloir dans l'avenir créer de la croissance avec des possibilités d'extension du potentiel productif franchement limitées et ce, dans un cadre naturel (changements climatiques) et économique international peu favorable.

Devant la gravité des conséquences anticipées des changements climatiques (perte de récoltes, abandon de certaines cultures) et face aux insuffisances institutionnelles constatées, le Ministère de l'Agriculture s'est doté, en 2007, d'une stratégie et d'un plan d'actions d'adaptation du secteur agricole au changement climatique, en relation étroite avec le secteur de l'eau et des écosystèmes.

Les principes directeurs retenus pour orienter le contenu de la stratégie sont au nombre de trois, (i) dépasser la gestion de crise à court terme au moyen d'une stratégie d'adaptation aux risques liés aux changements climatiques, (ii) intégrer la volatilité climatique dans la politique agricole et économique du pays et (iii) gérer de manière intégrée, entre les différents secteurs économiques, les conséquences socioéconomiques grevant le secteur agricole concerné.

Les actions conçues dans le cadre de ces principes directeurs sont de nature économique, institutionnelle et technique. L'adaptation et l'application rigoureuse de la Carte agricole (vocation des sols et des cultures), la réalisation des reconversions des terres imposées par les changements climatiques, l'institution d'assurance indexée aux événements climatiques extrêmes sont les principales actions retenues pour l'adaptation des agro-systèmes.

Au lendemain de son élaboration, la stratégie d'adaptation du secteur agricole a fait l'objet d'un exercice de vulgarisation dont le contenu a fait l'objet d'une large diffusion aux échelles régionale et locale. Après cette campagne d'information, la mise en œuvre de certaines actions proposées a démarrée. On peut signaler, dans ce cadre, la mise au-devant de la carte agricole et son adoption lors des orientations des investissements agricoles.

Durant la période allant de 2007 à 2009, on a assisté à la diffusion et la vulgarisation des données de la

carte agricole pour les rendre plus accessibles aux agriculteurs.

Toutefois, de nombreux obstacles subsistent aujourd'hui et freinent la mise en œuvre de la stratégie d'adaptation, car les institutions ne sont pas forcément outillées, ni préparées, pour implémenter de nouvelles politiques ou instruments (ex. assurances indexées aux événements climatiques).

8. VULNÉRABILITÉ ENVIRONNEMENTALE ET SOCIO-ÉCONOMIQUE DU LITTORAL DE LA TUNISIE FACE À UNE ÉLÉVATION ACCÉLÉRÉE DU NIVEAU DE LA MER (EANM) DUE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

• Scénarios et hypothèses

Le littoral tunisien, de par ses caractéristiques physiques et socio-économiques, est particulièrement vulnérable à l'élévation accélérée du niveau de la mer (EANM) due au réchauffement climatique.

La vulnérabilité du littoral tunisien à l'EANM est fonction de plusieurs facteurs dont essentiellement l'évolution du climat à l'échelle globale, la réponse des eaux océaniques en général et celles de la Méditerranée en particulier au changement climatique, la sensibilité des systèmes côtiers naturels et aménagés, et la politique nationale de gestion du littoral. Dans leur évolution, certains facteurs sont entourés d'incertitudes; d'où l'intérêt de l'approche par scénarios dans les évaluations de la vulnérabilité et des mesures d'adaptation.

Cette approche combine deux ensembles d'hypothèses :

- Un premier ensemble d'hypothèses se rapportant à l'évolution future du climat et du niveau de la mer à l'échelle globale, dans le cadre des changements climatiques; elles représentent les contraintes climatiques qui pèsent sur la frange littorale de la Tunisie. Ces contraintes climatiques sont la conséquence des activités anthropiques à l'échelle

globale et de la politique internationale en matière de changements climatiques.

- Un deuxième ensemble de scénarios à l'échelle nationale relatifs à l'évolution du poids démographique et économique du littoral et à la politique nationale en matière de protection et d'adaptation du littoral.

Tenant compte des scénarios SRES du Troisième Rapport d'Evaluation (TRE) de l'IPCC (2001), d'un certain nombre d'études récentes sur la variation du niveau de la mer en Méditerranée et des d'hypothèses relatives à la politique nationale en matière de gestion du littoral, trois scénarios relatifs à la vulnérabilité du littoral tunisien à l'EANM due aux changements climatiques ont été identifiés :

1. un scénario de maximum de risque (Sc. MR) associé à une élévation du niveau de la mer de 50 cm en 2100, et à une absence d'une stratégie nationale d'adaptation du littoral au changement climatique;
2. un scénario de référence (Sc. R) qui correspond à une élévation du niveau de la mer de 38 cm en 2100 et à la continuation des politiques actuelles en matière d'occupation, d'aménagement et de protection de la zone littorale.
3. un scénario de minimum de risque (Sc. mR) associé à une élévation du niveau de la mer de 30 cm en 2100 et à une politique efficace d'adaptation du littoral au changement climatique ;

Pour l'évaluation de la vulnérabilité environnementale et socio-économique du littoral tunisien, le scénario de maximum de risque (Sc. MR) a été retenu.

• Impacts environnementaux les plus importants de l'EANM

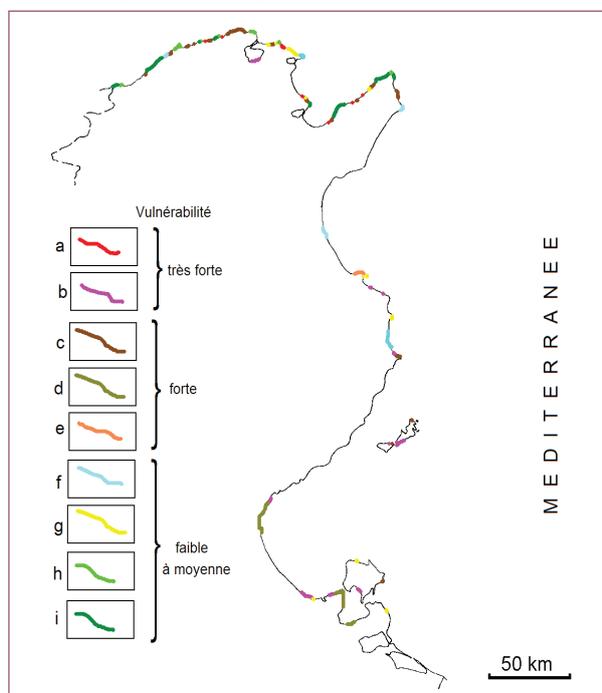
En Tunisie, Les risques liés à une EANM se manifestent par des phénomènes d'érosion en premier lieu, puis une salinisation des aquifères côtiers et des sols, voire leur submersion totale. La vulnérabilité est d'autant plus marquée que le modelé topographique des terres sur les côtes est bas, et les terres sont constituées de matériaux meubles et perméables. Les côtes rocheuses et les falaises sont moins vulnérables. Les

falaises à escarpement tendre seront sujettes au recul et à des éboulements.

L'érosion marine constitue une menace sérieuse pour de nombreux segments du littoral de la Tunisie. Une EANM accélérerait le phénomène et l'aggraverait. Ce sont les rivages peu élevés et accueillant des aménagements de valeur qui seront les plus vulnérables.

Les falaises et les côtes rocheuses basses de la façade littorale nord sont les moins vulnérables à une variation positive du niveau moyen de la mer. Le linéaire correspondant est de 390 km et 263 km respectivement. Façonnées dans des formations carbonatées qui offrent une résistance suffisante, les côtes rocheuses basses subiront l'action des vagues mais sans érosion exagérée. En ce qui concerne les falaises constituées de matériaux meubles, l'érosion sera plus accentuée suite à une EANM de quelques décimètres. Les conséquences seront plus difficiles à estimer pour les falaises élevées et baignées par des eaux profondes.

Les falaises : localisation, caractéristiques géomorphologiques et vulnérabilité

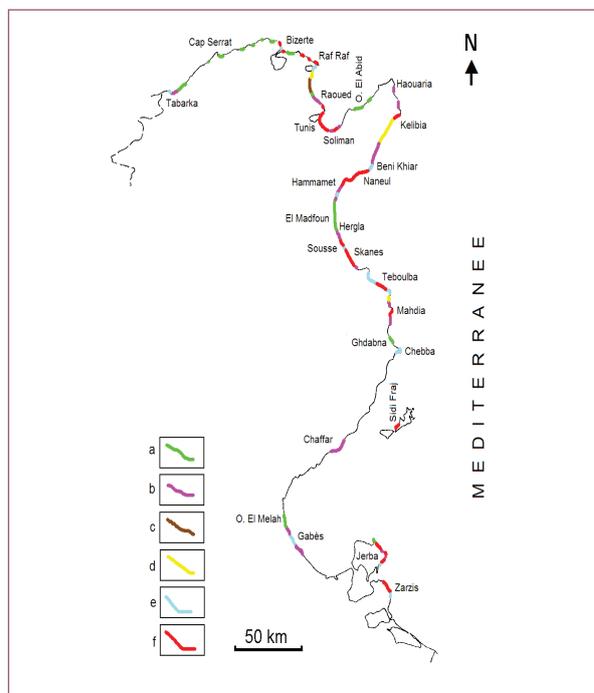


(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

a)-Falaises peu hautes (<5m), taillées dans des matériaux tendres et baignées par des eaux profondes et agitées ; b)-Falaises peu hautes, baignées par des eaux peu profondes et taillées dans des matériaux tendres ; c)-Falaises à faible commandement, baignées par des eaux profondes et façonnées dans des roches hétérogènes ; d)-Falaises moyennement hautes (entre 10 et 20m), baignées par des eaux peu profondes mais taillées dans des roches tendres et soumises à une érosion assez importante ; e)-Falaises moyennement hautes (entre 10 et 20m), baignées par des eaux relativement profondes et taillées dans des formations géologiques tendres ou dominées par des matériaux tendres ; f)-Falaises moyennement hautes, faites de roches dures baignées par des eaux profondes et agitées ou assez profondes et assez agitées ; g)-Falaises basses taillées dans des roches dures ; h)-Falaises hautes baignées par des eaux profondes et taillées dans des roches résistantes.

Les plages sablonneuses qui seraient les plus vulnérables à une EANM seraient notamment celles comprenant de nombreux aménagements, celles faiblement dotées de sédiments, et celles qui ne sont pas protégées par des formations dunaires importantes. Six catégories principales de plages ont été identifiées en fonction de leur degré de vulnérabilité :

Plages sablonneuses de la Tunisie : vulnérabilité à l'EANM



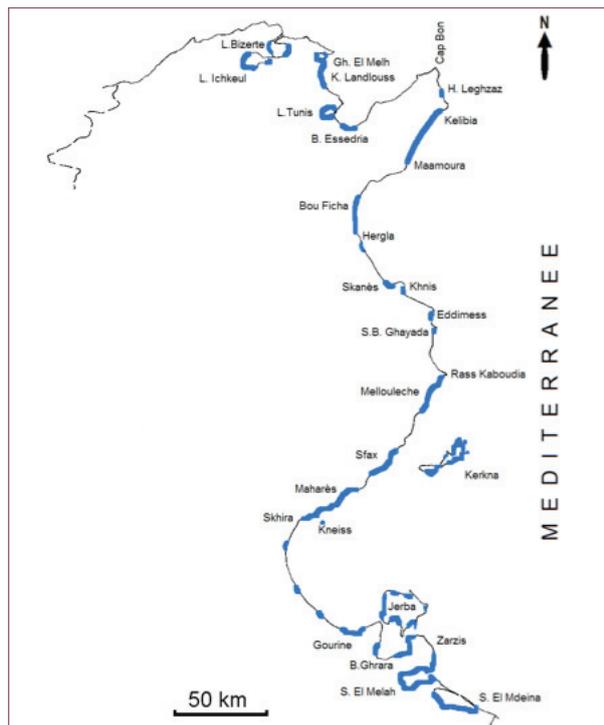
(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

a)-Des plages encore bien développées et sans signes nets d'érosion ou qui montrent des signes d'engraissement ; b)-Des plages encore larges malgré l'existence d'aménagements importants ; c)-Des plages montrant des signes d'une évolution régressive malgré l'absence d'aménagements sur le rivage ; d)-Des plages en migration en direction du continent ; e)-Des plages à évolution contrastée sur de courtes distances ; f)-Des plages soumises à une forte érosion et ayant parfois nécessité le recours à des travaux de protection.

Au niveau des côtes basses, le rivage évolue dans des formations lithologiques meubles et le contact terre-mer est progressif ou par un micro-talus (ou microfalaise) dont l'élévation ne dépasse pas 1 m en moyenne. Le linéaire côtier correspondant à cette morphologie est de 466 km, avec des côtes bordées de plaines alluviales très basses, des espaces d'embouchures et des terrains salins de type sebkhas, chotts ou marais maritimes. Les segments types les plus étendus existent autour des lagunes de Bizerte, de l'Ichkeul, de Ghar El Melh et de Tunis ainsi que dans le golfe de Gabès. Une EANM s'accompagnerait d'un recul important des rivages déjà en cours d'érosion et enclencherait une avancée importante de l'érosion

dans d'autres secteurs. Par ailleurs, compte tenu des faibles altitudes, les terres littorales risquent de se saliniser ou d'être submergées :

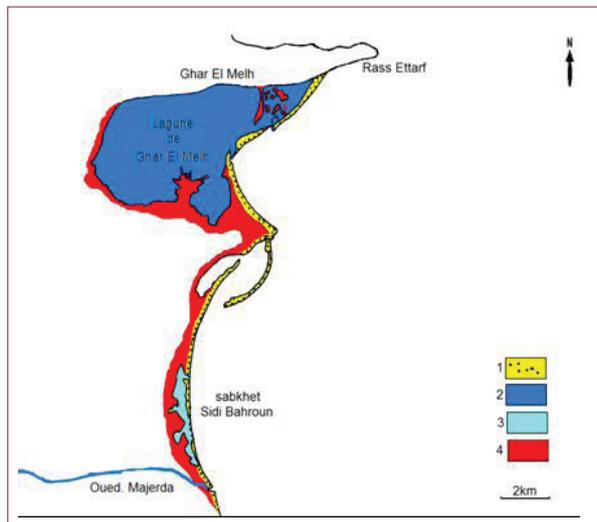
Localisation des segments de côte bordés par des lagunes et/ou des terres humides basses (sebkhas, chotts et marais maritimes)



(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les terres submersibles sont en général situées sur la côte orientale du pays et sur les îles. Elles couvrent une superficie de 182 000 ha, répartis en lagunes (110 000 ha), sebkhas (42 000 ha) et en marais maritimes (30 000 ha). En cas d'une EANM, les sebkhas seront inondées plus souvent et deviendront des plans d'eau permanents (lagunes). Dans le golfe de Hammamet par exemple, les surfaces risquant d'être annexées par la mer sont estimées à 4500 ha (1900 ha pour la sebkha de Sidi Khelifa, 1400 ha pour la Sebkha de Halk El Menjel et 1200 ha pour la sebkha de Skanès).

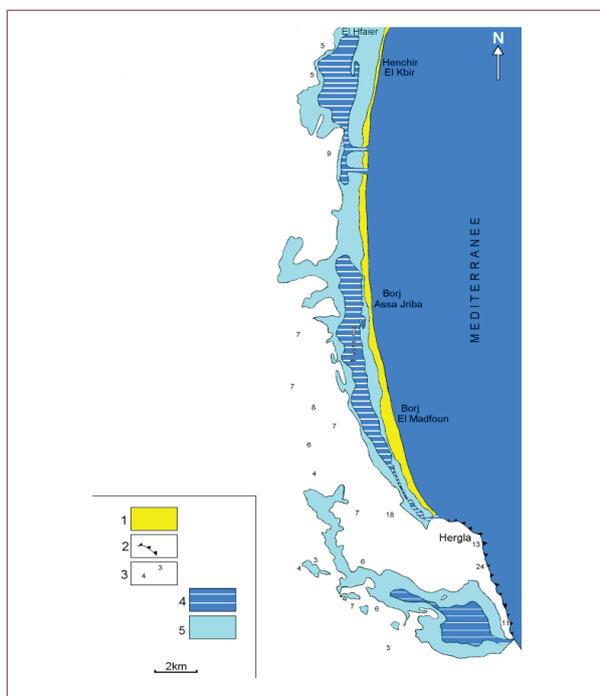
Espaces potentiellement submersibles autour du Lac Ghar El Melh et dans le delta de la Medjerda



(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

1-plage sableuse ; 2-lagune qui pourrait (en cas d'une érosion de la plage) évoluer vers une baie ; 3-sebkha qui pourrait être annexée à la mer ou se transformer en un plan d'eau permanent du type lagune ; 4-terres situées à des altitudes comprises entre 0 et 1m (souvent quelques décimètres) et qu'on pourrait considérer comme submersibles avec une élévation marine d'une cinquantaine de centimètres

Une appréciation des terres potentiellement submersibles au fond du golfe de Hammamet



(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

1- plage ; 2- falaises de Hergla ; 3- altitudes (en m) ; 4- parties les plus basses des sebkhas, actuellement fréquemment envahies par les eaux marines et qui pourraient donc être submergées avec une élévation de 50cm ; 5- les autres parties des sebkhas.

Sauf au nord du pays, la topographie des îles et ilots tunisiens est toujours basse, et se caractérise, le plus souvent, par des rivages meubles ou évoluant dans des matériaux tendres. Par conséquent, une EANM les soumettrait à une intense érosion, à un risque de salinisation des terres voire leur submersion. A titre d'exemple, la topographie basse et la subsidence active des sols des Iles Kerkennah les exposent à une menace de submersion. En effet, une EANM de 50 cm ferait perdre 4500 ha à l'archipel, ce qui représente 30% de sa superficie totale.

Les superficies potentiellement submersibles, délimitées grâce aux cartes et aux descriptions morphologiques disponibles sont estimées à 18 000 ha, répartis dans le tableau suivant.

Récapitulatif des espaces potentiellement submersibles

Secteur littoral	Zone concernée	Terres submersibles	Perte espaces en 2100 (en ha)
Extrême nord	Lac Ichkeul	Les espaces situés au contact du lac et à risque d'extension de la zone humide s'étendent autour du Djebel et sur les berges ouest du Lac	1 000
Golfe de Tunis	Lagune Ghar El Melh	Les espaces qui s'étendent sur les berges sud et ouest du lac	2 000
	Delta de la Medjerda Sebkha Ariana	Les terres très basses formant une bande quasi continue jusqu'à Raoued	2 600
	Sebkha Slimane	Occupant une surface actuelle de 220 hectares, elle se transformera en lagune de 270 hectares, entourée de 450 hectares de zones humides basses	50
Golfe de Hammamet	Sebkha de Hamman Laghzez	D'une surface actuelle de 90 hectares, elle se transformera en une lagune de 50 hectares entourée d'une zone humide de 60 hectares	20
	Côte orientale du Cap Bon	D'une surface totale actuelle de l'ordre de 460 hectares, plus de 10 sebkhas se transformeront en lagunes de 730 hectares entourées des zones basses humides de 730 hectares	730
	Fond du golfe Hammamet	Les espaces qui risquent d'être annexés par la mer s'étendent sur quelques 1900 ha	1 900
	Sebkha Sidi Khelifa Halk El Menjel	La Sebkha Sidi Khelifa et une partie de la Sebkha de Halk El Menjel: 1400 hectares se transformeront en lagunes permanentes	1 400
Golfe de Gabès	Kerkennah	L'archipel se transformera en un grand nombre d'îlots. La superficie qui sera gagnée par la mer peut être évaluée à environ 30% de la surface totale	4 500
	Ile de Kneis	Une surface de l'ordre de 400 hectares de l'île El Bessila sera submergée par la mer et quelques îlots ne dépassant pas les 150 hectares seront soumis à une érosion très sévère qui conduira à leur disparition.	400
	Ile de Djerba	les schorres et les sebkhas les plus basses essentiellement celles de Ras Erraml, Lella Hadria et Bin El Ouediane	3 400
TOTAL			18 000

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les espaces soumis à un risque de submersion sont essentiellement les terres humides (marécages, schorres, sebkhas et chotts) avec des conséquences considérables sur la biodiversité, les équilibres écologiques, les aménagements côtiers, portuaires, hôteliers, d'habitations, et sur les infrastructures de base.

Plus de 8 %, soit 127 km du linéaire total des plages actuelles, est affecté par l'érosion. Plusieurs dunes bordières ont déjà disparu ou sont en voie de disparition. Les côtes engraisées ne représentent plus que 1% du linéaire total, soit l'équivalent de 16 km.

Récapitulatif de l'état de stabilité des côtes de la Tunisie

Tronçon côtier	Linéaire km	Etat de stabilité	Linéaire km
Côte nord	220	Linéaire stable	213,7
		linéaire instable	6,3
Golfe de Tunis	225	Linéaire stable	187
		linéaire instable	38
Golfe de Hammamet	279	Linéaire stable	237
		linéaire instable	42
Golfe de Gabès	626	Linéaire stable	608
		linéaire instable	18
Kerkennah	174	Linéaire stable	170,5
		linéaire instable	3,5
Djerba	146	Linéaire stable	127,2
		linéaire instable	18,8
Total	1670	linéaire stable	1543
		linéaire instable	127

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Le retrait du rivage est estimé entre 0,5 et 1,5m/an. Il peut atteindre une valeur extrême de 5 m/an sur des rivages subsidents ou dotés d'aménagements perturbateurs. En effet, la construction d'ouvrages perturbant le transit hydrodynamique ou sédimentaire (jetées de ports par exemple) peut provoquer un recul de la ligne de côte jusqu'à 20m/an. Le recul du rivage le plus rapide s'observe à Ghar el Melh, Djerba Aghir,

Soliman et Ezzahra.

Sur le plan physiographique, une EANM accompagnée de tempêtes plus fréquentes engendrera des modifications du littoral, provoquera une aggravation de l'érosion des plages et une mobilité des flèches sableuses. Quatre niveaux de vulnérabilité des plages peuvent être distingués :

Niveaux de vulnérabilité des côtes (plages et côtes basses) face à l'EANM

Niveau de vulnérabilité à l'EANM	Linéaire total en %	Taux en % par rapport aux plages et côtes basses
Falaises	23	-
Niveau 1 : plages non vulnérables à l'EANM	2	2
Niveau 2 : plages peu vulnérables	44	58
Niveau 3 : plages moyennement vulnérables	16	21
Niveau 4 : plages très vulnérables	15	19
Total	100	100

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Environ 40% des plages et des côtes basses sont considérées comme étant moyennement vulnérables à très vulnérables. Elles constituent 31% du linéaire total. Ce sont les golfes de Hammamet (40 % des plages) et de Tunis (30% des plages), les îles Kerkennah (14 %) et Djerba (24 %) qui possèdent les plages les plus vulnérables.

L'évolution du trait des côtes tunisiennes est mesurée grâce à la formule de Bruun, qui permet, pour une plage en équilibre, de calculer le recul du rivage en fonction de l'EANM. Ce retrait dépend de la morphologie de la côte. Il varie de 20 m à Hammamet sud à 135 m à Aghir (Ile de Djerba).

Retrait de la côte avec une EANM de 50 cm

Site considéré	Retrait estimé (cm/an)
Côtes des banlieues de Tunis	50
Côtes nord du golfe d'Hammamet - Korba	38
Côtes du fond du Golfe d'Hammamet	20
Côtes sud du golfe d'Hammamet – Mahdia	80
Côte de Jerba – Zone d'El Mezraya à Houmet Souk	75
Côte de Jerba – Zone d'Aghir	135

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les pressions exercées sur les linéaires côtiers et le retrait du trait de côte à l'horizon 2100 sont résumés dans le tableau qui suit. Les activités industrielles le long du littoral sont peu nombreuses et généralement localisées en aval des ports de commerces. En revanche, le tourisme balnéaire bénéficie d'un linéaire côtier très important, notamment sur l'île de Djerba et dans le golfe de Hammamet.

Les côtes de la banlieue de Tunis, du golfe de Hammamet et de l'île de Djerba sont les plus sujettes à un déplacement du trait de côte, qui peut avoir des conséquences socio économiques importantes.

Les lagunes occupent environ 86 000 ha, réparties du nord au sud du pays (lac Ichkeul, Ghar El Melh, Boughrara, El Bibane). Elles sont pour certaines des espaces d'hibernation pour différentes espèces d'oiseaux et abritent de nombreuses variétés floristiques et faunistiques. Elles présentent, en général, un grand intérêt économique, en raison des opportunités importantes de pêche et d'élevage aquacole qu'elles offrent. Cependant, les activités anthropiques telles la pêche exercent sur elles une pression importante.

Estimation sommaire des différents types de pressions exercées sur les linéaires côtiers étudiés

Site	Retrait estimé à l'horizon 2100 (cm/an)	Linéaire urbanisé (km)	Linéaire touristique (km)	Linéaire industriel (km)	Autres (km)	
Tunis	Banlieue Nord	-	10	5	-	3,3 (forêts)
	Banlieue Sud	50	14	1,5	1,4	6
Golfe de Hammamet (Korba, Nabeul, Hammamet)		38	9,5	12	-	26,5
Fond du golfe de Hammamet		20	3,6	-	0,9	44
Sud du golfe de Hammamet		80	1,5	4	3 (saline)	6
Djerba, Houmet Essouk		75	3	1	-	5
Aghir		135	-	10	-	-

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Impacts sur les ressources en eaux littorales

En Tunisie, les nappes phréatiques sont principalement localisées sur le littoral. En cas d'une EANM et en l'absence de mesures efficaces d'adaptation, elles seront menacées par une intrusion d'eau marine. Leur vulnérabilité est d'autant plus grande qu'elles se

situent dans des zones à forte pression anthropique, en raison de la forte densité de population et des activités économiques nombreuses qui s'y sont implantées. Par ailleurs, la pression serait alors mise sur les nappes profondes pour compenser le manque d'eau.

Pertes en ressources en eau côtières suite à une EANM à l'horizon 2050

Nombre de nappes côtières vulnérables	22
Ressources totales de ces nappes	288 millions de m ³ (Mm ³) / an
Superficie totale des nappes	11000 km ²
Superficie vulnérable	1400 km ²
Pertes de ressources par salinisation et intrusion marine	152 Mm ³ / an
% des ressources salinisées	53%

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Une intrusion marine entraînerait la perte de 53% des réserves actuelles des nappes phréatiques littorales, avec un fort impact négatif sur le plan socio-économique.

Impacts sur les Infrastructures littorales

Environ 1% du linéaire côtier est protégé par divers ouvrages. Les digues à talus de protection en enrochement sont les plus répandues (55%), suivies des brise-lames isolés en mer (25%). Les épis de protection contre l'érosion marine se trouvent au niveau des ports.

Aménagements et infrastructures littorales.

Type d'ouvrage	Secteur de côte	Linéaire total km
Murs de soutènement	Golfe de Tunis	485
	Golfe de Hammamet	470
Brises lames isolés	Golfe de Tunis	2663
	Golfe de Hammamet	1885
	Golfe de Tunis	3536
Digues à talus protection longitudinale	Golfe de Hammamet	1250
	Golfe de Gabès	4203
	Extrême sud	632
Epis de protection transversale	Golfe de Tunis	1850
	Golfe de Hammamet	560

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

La Tunisie possède 41 ports et abris de pêche, 6 ports de commerce et 10 ports de plaisance. Une EANM engendrerait des pertes économiques significatives, notamment en matière de coûts de gestion et de maintenance, difficiles à prendre en charge. La majorité de ces ports est protégée par des digues à talus en enrochement ou par des blocs artificiels, qui sont des ouvrages souples mais vulnérables. En effet, toute EANM suite à un accroissement d'énergie due à la houle peut entraîner la submersion de ces ouvrages de protection.

Vulnérabilité socio-économique

Il s'agit d'évaluer, à l'horizon 2050, les effets socio-économiques directs et les coûts de dégradation environnementale ou effets indirects par détérioration des écosystèmes qui seraient dus à l'élévation accélérée du niveau de la mer.

• Impacts directs

Les effets directs sont la perte du potentiel productif de secteurs d'activités tels que l'agriculture, le tourisme et l'artisanat, et la fluctuation des productivités des principaux actifs naturels que sont l'eau, les sols et les plages.

Les effets considérés, en dehors du risque d'intrusion d'eau de mer dans les aquifères littoraux, affecteraient une bande littorale large de 1,5 km.

L'estimation de la perte de capital économique est basée sur la valeur des services rendus. Elle est estimée à plus de 3,6 milliards de dinars, soit presque 10% du PIB. Le tourisme serait le secteur le plus touché, suivi par les zones résidentielles et les ressources en eau.

Valeur du capital productif dégradé (en millions de Dinars tunisiens : MDT) à l'horizon 2050

Capital dégradé	Montant en MDT
Sols agricoles et végétation spontanée	30
Zones urbaines bâties	704
Ressources en eau: pertes de terres irriguées	290
Ressources en eau: pertes du capital « eau »	579
Tourisme	1 935
Infrastructures	53
Total	3 592

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Au niveau géographique, ce sont les gouvernorats de Sousse, de Gabès / Médenine et de Nabeul qui connaîtront les pertes les plus importantes, compte tenu notamment des impacts sur le secteur touristique.

Perte en capital productif par gouvernorat (millions de DT : MDT) à l'horizon 2050

Gouvernorat	Capital sol et infrastructure	Capital eau	Capital Touristique et patrimoine culturel	Total
Bizerte	105	2		107
Tunis	190	114		304
Nabeul	29	429	444	903
Sousse	230	48	723	1 001
Sfax	51	218		270
Gabès / Médenine	194	57	768	1 018
Total	799	869	1 935	3 603

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les pertes annuelles de production concerneront essentiellement les secteurs d'activités de l'agriculture, la pêche et le tourisme. Elles sont évaluées annuellement à 182 MDT (soit 0,5% du PIB de 2006, à prix constants).

Variations annuelles de production (en millions de DT : MDT)

Activités affectées	Valeur de la variation de production par an (MDT)
Agriculture	- 81
Tourisme	-102
Pêche	+1
Total	-182

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les pertes de production agricole, estimées à 81 MDT par an (soit 2% de la valeur ajoutée agricole), sont dues à la submersion de terres agricoles et une perte du potentiel d'irrigation suite à la salinisation des nappes. 10% des périmètres irrigués existants seraient perdus. Au niveau du secteur touristique,

les pertes estimées à 56%, se traduiraient par le déclassement d'un certain nombre d'hôtels et la disparition de plages. Les gouvernorats les plus affectés seraient Nabeul, Sousse, Gabès et Médenine. Seul le secteur de la pêche enregistrerait une légère augmentation de production équivalente à 1 MDT/an.

Pertes annuelles de production par gouvernorat (en 1000 DT)

Gouvernorat	Agriculture et pêche	Tourisme et artisanat	Total
Bizerte	4 266	-	4 266
Tunis	10 204	-	10 204
Nabeul	37 579	23 324	60 902
Sousse	4 571	37 960	42 531
Sfax	19 083	-	19 083
Gabès / Médenine	4 990	40 296	45 286
Total	80 693	101 580	182 273

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

L'élévation accélérée du niveau de la mer pourrait faire disparaître environ 35 000 emplois, soit 1% de la population active. A nouveau, seul le secteur de la pêche enregistrerait un accroissement de presque 400 emplois.

Impacts prévisibles de l'EANM sur l'emploi à l'horizon 2050

Activités affectées	Variation de l'emploi
Agriculture	-34 165
Tourisme	-1 012
Pêche	+390
Total	-34 787

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les régions les plus menacées seraient l'île de Djerba, les îles Kerkennah et les zones basses du fond du Golfe de Hammamet. L'île de Djerba, riche en infrastructures touristiques balnéaires, pourraient subir des pertes annuelles de 40 MDT et une dégradation de son capital touristique évaluée à 768 MDT. Pour les îles de Kerkennah, la submersion des terres agricoles entraîneraient une dégradation du capital productif estimée à 750 000 DT par an et des pertes de production d'une valeur de 55 000 DT par an. Les zones basses du fond du Golfe de Hammamet devant abriter des projets d'infrastructures (touristiques, industrielles, transport aérien et maritime, routes, etc.), devraient revoir à la baisse la rentabilité des dits projets et/ou rajouter aux investissements prévus des surcoûts liés à la nécessité d'adaptation à l'EANM.

• Coût de la dégradation de l'environnement due à l'EANM

Ce coût occasionné par les effets physiques de l'EANM sur le littoral, les ressources en eau, le sol et la végétation doit être rajouté aux coûts identifiés précédemment. La Banque Mondiale a réalisé une étude en 2004 sur les coûts de dégradation de l'environnement en Tunisie et a estimé le coût lié à une EANM à près de 0,13% du PIB annuellement, comme le montre le tableau suivant :

Coûts de la dégradation (en % du PIB) due à l'EANM

Catégorie environnementale	Coût de dégradation due à l'EANM (% PIB)
Eau	0,09
Sols et forêts	0,002
Littoral	0,04
Total	0,132

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

• Synthèse des impacts

Les coûts de la dégradation environnementale rajoutés à la valeur des pertes économiques directes telles qu'estimées précédemment (soit 0,5% du

PIB par an) donnent pour une EANM, un coût total équivalent à 0,63% du PIB par an. Ce coût n'est pas négligeable et pourrait affecter sensiblement la croissance économique du pays.

Synthèse des coûts/pertes économiques et environnementaux liés aux effets de l'EANM

Activités affectées	en millions DT / an	en % PIB
Pertes économiques	181	0,5
Agriculture et Pêche	80	0,2
Tourisme	101	0,3
Coûts environnementaux	47	0,13
Total coûts et pertes / an	228	0,63

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

9. STRATÉGIE NATIONALE D'ADAPTATION À L'ÉLEVATION ACCÉLÉRÉE DU NIVEAU DE LA MER (EANM)

• Mesures d'ordre technique

Consciente de l'ampleur des impacts de l'EANM, le ministère chargé de l'environnement (Ministère de l'Environnement et du Développement Durable : MEDD), a élaboré en 2007, et en concertation avec toutes les parties prenantes nationales, une stratégie

d'adaptation du littoral tunisien face à une élévation accélérée du niveau de la mer due au changement climatique.

En prévision de la mise en œuvre de cette stratégie, un plan d'action a été également élaboré. Ce plan d'action comporte le renforcement du suivi océanographique du niveau de la mer, et des actions techniques pour la réhabilitation des côtes dégradées, la sauvegarde des ressources en eaux côtières, les ressources écologiques et halieutiques, et les infrastructures côtières.

Ces actions sont résumées dans les tableaux suivants :

Plan d'action pour l'adaptation des zones basses potentiellement submersibles

Extrême Nord	Environs du Lac Ichkeul	Exhaussement par 10 millions de m ³ de remblais.
Golfe de Tunis	Environs du Lac Ghar El Melh	Exhaussement par 20 millions de m ³ de remblais.
	Kalaât El Andalous ; Nord de Raoued, Sebkha de l'Ariana	Exhaussement par 26 millions de m ³ de remblais.
	Sebkha de Soliman	Exhaussement par 0,5 millions de m ³ de remblais.
Golfe de Hammamet	Sebkha de Hammam Leghzaz Côte orientale du Cap Bon Fond du golfe de Hammamet Sebkha de Sidi Khelifa	Exhaussement par 34 millions de m ³ de remblais.
Golfe de Gabès	Kerkennah	Exhaussement par 40 millions de m ³ de remblais
	Ile de Kneiss	Exhaussement par 8 millions de m ³ de remblais
	Ile de Djerba	Exhaussement par 34 millions de m ³ de remblais

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Plan d'action pour la stabilisation du trait de côte

Extrême Nord	Suivi du comportement des falaises Protection de 19 km de côtes	
Golfe de Tunis	Cartographie intégrée de l'évolution côtière Surveillance de l'évolution du trait de côte Travaux de recherche d'un gîte de rechargement Régénération de 31 km de cordon Protection de 68 km de côtes	
	Golfe de Hammamet	Cartographie intégrée de l'évolution côtière Surveillance de l'évolution du trait de côte Travaux de recherche d'un gîte de rechargement Régénération de 62 km de cordon Protection de 60 km de côtes
	Golfe de Gabès	Cartographie intégrée de Kerkennah et Djerba Surveillance de l'évolution du trait de côte Régénération de 2 km de cordon Protection de 105 km de côtes

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Plan d'action pour les ressources en eau littorales vulnérables

Nappes phréatiques	Mesures d'adaptation
Plaine d'El Haouaria	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière</p> <p>Renforcement de la surveillance des bilans quantitatifs et qualitatifs.</p> <p>Protection de l'aquifère contre la surexploitation.</p> <p>Recharges artificielles de la nappe côtière.</p>
Grombalia	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p> <p>Renforcement de la surveillance des bilans quantitatifs et qualitatifs.</p> <p>Protection de l'aquifère contre la surexploitation.</p>
Côte orientale Plaine de Nabeul	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p> <p>Renforcement de la surveillance des bilans quantitatifs et qualitatifs.</p> <p>Protection de l'aquifère contre la surexploitation.</p>
Bouficha Gabès Nord Gabès Sud	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p> <p>Renforcement de la surveillance des bilans quantitatifs et qualitatifs.</p> <p>Recharges artificielles de la nappe côtière.</p>
Sfax	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p> <p>Renforcement de la surveillance des bilans quantitatifs et qualitatifs.</p> <p>Protection de l'aquifère contre la surexploitation.</p>
Oued el Kheirat Chegarnia	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p>
Oued Laya	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p> <p>Renforcement de la surveillance des bilans quantitatifs et qualitatifs .</p> <p>Protection de l'aquifère contre la surexploitation.</p>
Chott Meriem Chegarnia 2 Synclinal M'Saken	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p>
Ariana Ariana-Soukra	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe.</p>
Mornag Mahdia-Ksour Essef Chebba-Ghedabna	<p>Etude lithologique et structurale de la nappe côtière.</p> <p>Renforcement de la surveillance des bilans quantitatifs et qualitatifs.</p> <p>Protection de l'aquifère contre la surexploitation.</p> <p>Recharges artificielles de la nappe côtière.</p>

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Plan d'action pour les ressources écologiques

Extrême Nord	Environs du Lac Ichkeul	Aménagements topographiques pour le maintien et la préservation des marais soit 30 km ² .
	Ghar El Melh	Pérennité de la communication mer-lagune.
Golfe de Tunis	Côte ouest et sud	Entretien de l'accès au port de Kalaat Andalous.
	Sebkha de Soliman	Favoriser les échanges avec la mer.
Golfe de Hammamet	Sebkha de Hammam Leghzaz	Favoriser les échanges avec la mer.
	Côte orientale du Cap Bon	Favoriser les échanges avec la mer.
	Fond du golfe de Hammamet	Favoriser les échanges avec la mer.
	Sebkha de Sidi Khelifa	Favoriser les échanges avec la mer.
Golfe de Gabès	Kerkennah	Etude de nouvelles implantations des pêcheries fixes.
	Ile de Kneiss	Préservation des îlots de nidifications des oiseaux d'eaux.
	Ile de Djerba	Conservation des espèces et des habitats particuliers.

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Plan d'action pour les ressources halieutiques

Extrême nord	Transposition et surélévation de bordigues de l'Ichkeul.
	Réaménagement des parcs conchylicoles dans la lagune de Bizerte.
Golfe de Tunis	Aménagement des passes mer-lagunes, assurant le recrutement des espèces et la mobilité de la flottille.
	Développement des techniques de pêche plus propres.
	Réexamen et ventilations spatiale et temporelle des campagnes des pêches.
Golfe de Hammamet	Réimplantation des fermes et infrastructures aquacoles.
	Développement des techniques de pêche plus propres.
	Réexamen et la ventilation spatiale et temporelle des campagnes des pêches.
Golfe de Gabès	Réaménagement des pêcheries fixes.
	Aménagement des nouveaux accès.
	Développement des techniques de pêche plus propres.
	Réexamen et ventilations spatiale et temporelle des campagnes des pêches.

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Concernant les infrastructures littorales, l'EANM aura des impacts négatifs sur les aménagements côtiers qui devront être surélevés ou renforcés par des ouvrages de protection. Il serait également nécessaire de rehausser ou de renforcer les ouvrages d'accostage des bateaux ou navires tout en assurant la surélévation des terre-pleins en arrière de ces ouvrages, ainsi que les écoulements hydrologiques à la mer. Le dragage fréquent des zones portuaires et côtières, la mise en dépôt sécuritaire approprié des matériaux dragués, et l'engraissement des zones érodées deviendront nécessaires.

Les mesures d'adaptation nécessaires peuvent être classées en les six catégories suivantes :

- 1- renforcement des ouvrages de protection avec élévation des crêtes ;
- 2- rehaussement des ouvrages d'accostage et adaptation des équipements ;
- 3- rehaussement des terre-pleins en arrière quais ;
- 4- travaux de dragage des fonds marins ;
- 5- réaménagement des ouvrages ;
- 6- prévention d'ouvrages absorbeurs et amortisseurs de houles.

Répartition des mesures d'adaptation par site portuaire

	1	2	3	4	5	6
Site Abri Sidi Mechreg	X	X	X		X	X
Port de pêche Sidi Daoud	X	X	X	X	X	X
Port de pêche Beni Khia	X	X	X	X	X	
Port de pêche El Karraya	X	X	X	X	X	X
Port de pêche de Sayada	X	X	X	X		
Port de pêche de Gabès	X	X	X	X		
Port de Pêche de Zarrat	X	X	X	X		
Port de commerce de Bizerte	X	X	X	X		
Port de commerce de Sousse	X	X	X	X	X	X
Port de commerce de Zarzis	X	X	X	X	X	X

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Concernant les infrastructures d'assainissement et d'évacuation des eaux pluviales, les principales mesures d'adaptation proposées sont :

- L'aménagement d'un système de drainage des eaux pluviales aux alentours de la Sebkha de l'Ariana.
- L'adaptation du système de drainage des eaux pluviales du centre ville de Tunis ;
- L'adaptation du système de drainage des eaux pluviales de la zone Sud de la ville de Tunis.
- L'aménagement d'un système de drainage des eaux pluviales de la région sud de la ville de Sfax analogue à celui de la région nord de la ville.

• Coût et financement du plan d'action

a• Structure du coût du plan d'action

Le coût total du plan d'action en matière d'adaptation des zones côtières de la Tunisie face à l'EANM, est estimé à 1461 millions DT (soit environ 1 milliard de Dollars US). Le tableau suivant résume les coûts des principales catégories de mesures d'adaptation.

Coût du plan d'action en millions de DT

	Coût en millions DT 2007	Dont mesures d'accompagnement (Investissement immatériel)	Dont investissement matériel
Veille et suivi océanographique	1	1	
Adaptation des zones basses	863	75	788
Adaptation des côtes contre l'érosion	318	35	283
Adaptation des ressources en eau côtières	100	35	65
Adaptation des ressources écologiques	93	17	76
Adaptation des infrastructures portuaires	56	-	56
Adaptation des infrastructures d'évacuation des eaux pluviales	30	-	30
Total	1 461	163	1 298
%	100	11	89

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les investissements matériels (travaux, équipements, infrastructures de protection, etc.) représentent environ 89% du coût total alors que les investissements immatériels correspondant aux mesures d'accompagnement, de suivi et de renforcement de capacités sont de l'ordre de 11%. Il est important de noter que le coût du plan d'action représente 40% de la valeur du capital productif qui aurait été perdu en cas d'absence de mesures d'adaptation. Le temps de retour du plan d'action pour la collectivité est estimé à 8 ans si l'on considère uniquement les pertes économiques directes et à 6 ans si l'on tient compte des coûts de dégradation de l'environnement. Cela montre clairement l'intérêt pour la collectivité d'entreprendre ce type d'investissement.

b • Financement proposé du plan d'action

Le financement du plan d'action constitue une contrainte forte qui peut être surmontée en recourant aux opportunités de financement offertes à l'échelle internationale en matière d'adaptation au changement climatique. Le schéma de financement proposé intègre les fonds internationaux destinés à l'adaptation au changement climatique, plus particulièrement ceux liés à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), le budget de l'Etat, les contributions des opérateurs privés concernés et les financements internationaux au titre de l'Aide Publique au Développement (APD) qu'ils soient sous forme de dons ou de crédits concessionnels, et ce en fonction de la nature des mesures à entreprendre et l'ampleur des investissements requis.

**Schéma de financement proposé du plan d'action d'adaptation à l'EANM
(en millions de DT)**

Mesures	Coût en millions DT 2007	Schéma de financement		
		Dons	Etat / opérateurs	Crédits concessionnels
Veille et suivi océanographique	1	1		
Adaptation des zones basses	863	86	173	604
Adaptation des côtes contre l'érosion	318	35		283
Adaptation des ressources en eau côtières	100	35	7	59
Adaptation des ressources écologiques	93	24	15	53
Adaptation des infrastructures portuaires	56	6	11	39
Adaptation des infrastructures d'évacuation des eaux pluviales	30	3	6	21
Total	1461	190	212	1 059
%	100	13	15	73

(Source : Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2008)

Les crédits concessionnels constitueraient la principale source de financement du plan d'action (73%), 13% proviendraient de dons internationaux et 15% de la contribution de l'Etat et des opérateurs concernés.

• Cadre institutionnel de la mise en œuvre du plan d'action

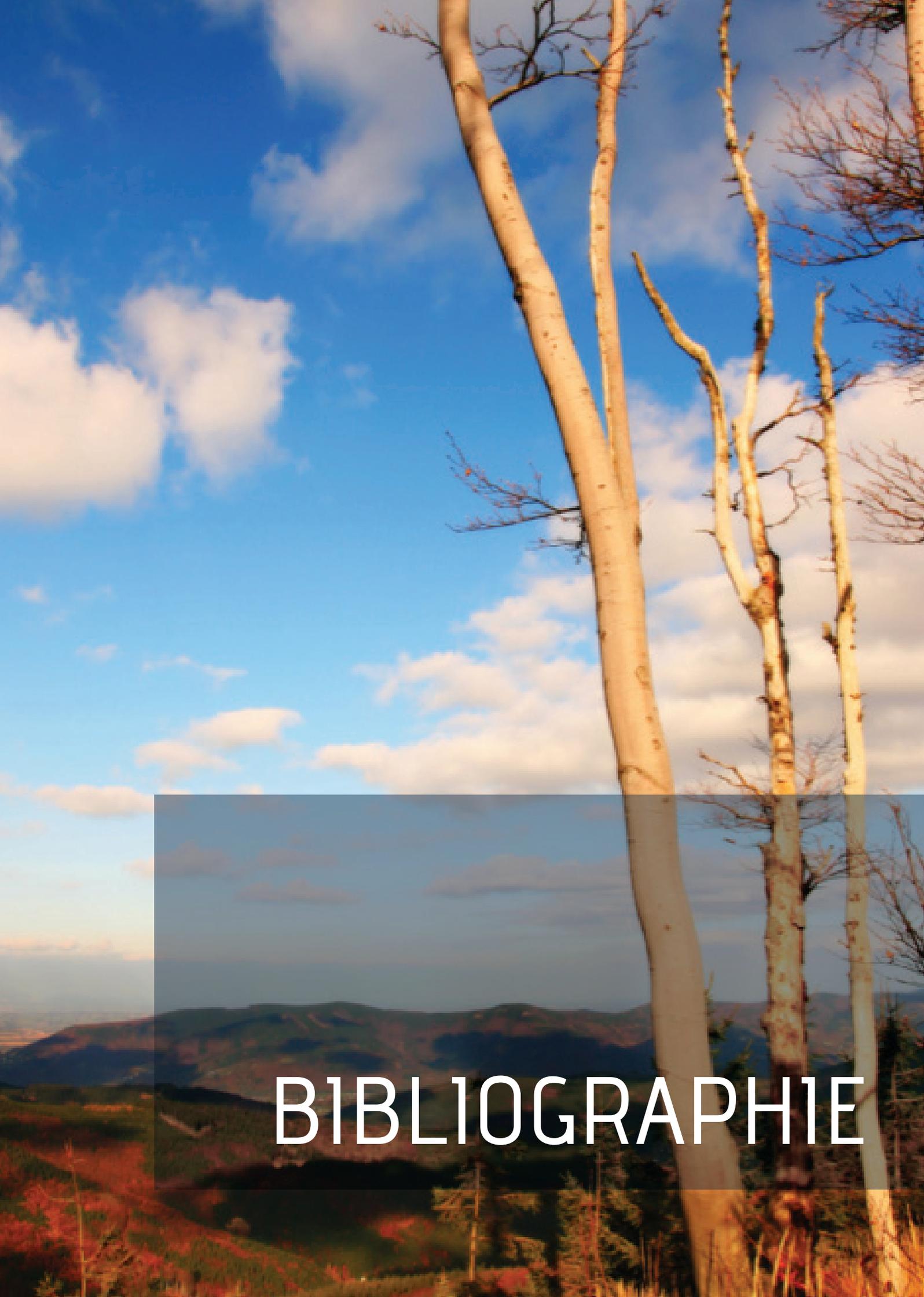
Le cadre institutionnel actuel est peu propice à la prise en charge de la question d'adaptation au changement climatique. En effet, il n'existe pas de structure dédiée à cette problématique.

Au niveau politique, il serait nécessaire de constituer un Comité National d'Adaptation à l'Élévation Accélérée du Niveau de la Mer (CNAEANM), qui serait composé des principaux acteurs concernés par la mise en œuvre des plans d'actions sectoriels d'adaptation. Ce comité aurait pour mission principale de proposer, au gouvernement, des politiques et des plans d'action d'adaptation cohérents et d'assurer ensuite leur suivi et évaluation. Le Secrétariat permanent qui constituerait l'organe « opérationnel » du Comité, serait assuré

par le ministère chargé de l'environnement. Afin de mener à bien les tâches incombant au Secrétariat, ce dernier devrait être doté d'une structure (cellule, service ou sous-direction, etc.) chargée de la question du changement climatique en général et de la vulnérabilité/adaptation en particulier.

Au niveau sectoriel, il s'agit de mettre en œuvre les divers politiques et plans d'action d'adaptation définis par le CNAEANM. A cette fin, les institutions sectorielles seraient responsables de la mise en œuvre opérationnelle de ces plans d'action et rendraient compte annuellement à la CNEANM, sur la base d'indicateurs de suivi-évaluation.

Au niveau informationnel, il serait utile de créer un nouvel observatoire spécifique à l'EANM, ou de renforcer les missions d'un observatoire existant, comme celui de l'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral (APAL). Sa mission essentielle serait de collecter et de diffuser les informations, les études et les recherches sur l'évolution de l'EANM ainsi que les risques physiques et socio-économiques qui lui sont liés en Tunisie.



BIBLIOGRAPHIE

Evolution des émissions de gaz à effet de serre dues à l'énergie en Tunisie de 1980 à 2008, Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie, janvier 2010.

Rapport de diagnostic préparé dans le cadre de l'élaboration de la stratégie nationale sur le changement climatique de la Tunisie, Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement, Bureaux d'études ALCOR et TEC, 2010-2011.

Guide sur le Mécanisme de Développement Propre dans le Secteur de l'Énergie, Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Énergie, mars 2009.

Inventaire des émissions de gaz à effet de serre dues à l'énergie en Tunisie pour l'année 2000, Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques et Agence Nationale des Énergies Renouvelables, Bureau d'études APEX Conseil Tunisie, juin 2003.

Protection des écosystèmes et adaptation aux changements climatiques en Tunisie, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, octobre 2007.

Élévation accélérée du niveau de la mer, vulnérabilité et adaptation, Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire avec l'appui du Programme des Nations Unies pour l'Environnement et le Fonds pour l'Environnement Mondial, Bureau d'études IHE – Tunisie, octobre 2000.

Étude de la vulnérabilité environnementale et socio-économique du littoral tunisien face à une élévation accélérée du niveau de la mer due aux changements climatiques et identification d'une stratégie d'adaptation, Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire avec l'appui du Programme des Nations Unies pour l'Environnement et le Fonds pour l'Environnement Mondial, Bureau d'études IHE – Tunisie, avril 2008.

IPCC, 2001 – Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2001 : The scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC.

IPCC, 2001 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC.

IPCC, 2003 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), National Greenhouse Gas Inventories Programme, *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*.

IPCC, 2000 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*.

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

IPCC/UNEP/OECD/IEA, 1997 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), United Nations Environment Programme, Organisation for Economic Cooperation and Development, International Energy Agency, *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.

IPCC, 2001 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2001: Synthesis Report*.

IPCC, 2000 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *IPCC Special Report on Emissions Scenarios – Summary for Policymakers*.

Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (2007), *Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques*, Bureaux d'études GOPA et ExaConsult Tunisie, janvier 2007.

Bachta, M.S., A. Ben Mimoun (2004). *Libéralisation des échanges agricoles et dégradation des sols en Tunisie*.

King, L., H. Almohamad, Z. Nasr (2006). *Projections du climat en Tunisie aux horizons 2020 et 2050*. Document de travail de la Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques.

Lahache Gafrej, R. (2006). *Les ressources en eau sous l'influence des changements climatiques*. Document de travail de la Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques.

Neff, C., A. Aloui, A. El Hamrouni, A. Souissi, A. Großmann (2006). *Les écosystèmes sous l'influence des changements climatiques*. Document de travail de la Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques.

Parry, M.L., C. Rosenzweig, A.I. Glesias, M. Livermore, G. Ficher (2004). *Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios*. Elsevier.

Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (2006). *Les réalisations du secteur agricole et de la pêche en Tunisie*.

Observatoire National de l'Agriculture (diverses années). www.onagri.nat.tn

République Tunisienne (2006). *Note d'orientation du XIe Plan de développement* (document en langue arabe).

Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (2001): *Communication Initiale de la Tunisie à la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*.

Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (2000) – *Situation de l'exploitation des nappes phréatiques en Tunisie*.

Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques (2000 et 2001) – *Annuaire d'exploitation des nappes profondes en Tunisie*.

Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral (2006). Biodiversité des écosystèmes côtiers et des zones humides de la Région du Cap Bon, Tunisie. Project for the Conservation of Wetlands and Coastal Ecosystems in the Mediterranean region (MedWetCoast).

Ministère de l'Équipement et de l'Habitat (2005). *Etude de suivi du niveau de la mer dans sept ports tunisiens*, Bureau d'études IHE Tunisie.

Henia L. et Benzarti Z. (2006). *Changements climatiques et ressources en eau de la Tunisie*.

Keqi Zhang, Bruce C. Douglas and Stephen P. Leatherman (2004), *Global Warming and Coastal Erosion*.

Oueslati A. (2004). *Littoral et aménagement en Tunisie*.

Romdhane M. S et H Missaoui (2003). *Programme d'action stratégique pour la conservation de la biodiversité en Méditerranée (PAS/BIO) - Rapport National sur la Biodiversité marine et côtière en Tunisie*.

Ben Charrada R. et Vandenbroeck J. (2001). *The project of the development and restoration of the Tunis Southern Lake and its shores*. Terra & Aqua. Netherlands;

Slim H., Troussset P., Paskoff R. et Oueslati A. (2004). *Le littoral de la Tunisie; étude géo-archéologique et historique*; éd. CNRS; France.

Bernabeu A.M., Medina R. and Vidal C. (2003). *A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences*. *Marine geology*.

Berrioli G., Fierro G. and Gamboni S. (2001) - *The evolution of the coast between Cap Farina and Cap Gammarth (Northern Tunisia)* ; Fifth International Conference on Mediterranean Coastal Environment, 23-27 October 2001, Hammamet, Tunisia.



This document has been prepared in 2011 and published in December 2013
with the support of GEF and UNDP-Tunisia



Ministry of Equipment and Environment
Address: Boulevard de la Terre, Centre Urbain Nord, 1080 Tunis – Tunisia
Tel.: +216 70 728 644 Fax: +216 70 728 655
Email: dgeqv@mineat.gov.tn Website: www.environnement.gov.tn