

Royaume du Maroc

Ministère de la Transition
Énergétique et du
Développement Durable



المملكة المغربية

وزارة الانتقـال
الطـاقـي
والتنمية المستدامة

LT-LEDS

Plan sectoriel de décarbonation de l'industrie du Maroc

*Avec des focus thématiques sur les secteurs des phosphates, Ciment et
dessalement de l'eau de mer*

Projet de la stratégie nationale Bas Carbone du Maroc 2050

05/08/2024

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	5
1. ENJEUX DU SECTEUR.....	6
1.1. Place du secteur de l'industrie dans les émissions de GES du pays	6
1.2. Tendances récentes et actuelles	9
1.2.1. Consommation d'énergie dans le secteur de l'industrie par branche	9
1.2.1. Mix énergétique du secteur de l'industrie	9
2. LE SECTEUR EN 2050 DANS LE SCENARIO DE NET-ZERO	12
2.1. Consommation énergétique du secteur industrie dans le scénario net-zéro	12
2.2. Émissions de GES du secteur industrie dans le scénario net-zéro	16
2.2.1. Émissions totales de l'industrie dans le scénario net-zéro	16
2.2.2. Émissions de l'industrie liées à la combustion d'énergies fossiles dans le	
scénario net-zéro.....	17
2.2.3. Émissions PIUP de l'industrie dans le scénario net-zéro.....	19
2.3. Coûts d'investissement dans l'industrie dans le scénario net-zéro	21
3. MESURES A IMPLEMENTER POUR ATTEINDRE LE	22
SCENARIO NET ZERO DANS LE SECTEUR DE L'INDUSTRIE	22
ANNEXES	25
Annexe 1 - Liste exhaustive des mesures techniques de décarbonation.....	25
Annexe 2 - Le secteur en 2050 dans le scénario de référence	27
Annexe 3 – Focus – Ciment	34
Annexe 3.1 Hypothèses et méthodologie de calcul du ciment	34
Annexe 3.2 Le sous-secteur du Ciment dans le scénario de Référence	35
Annexe 3.2.1 Consommation d'énergie du Ciment (Référence)	35
Annexe 3.2.2 Emissions du Ciment (Référence)	36
Annexe 3.3 Le sous-secteur du Ciment dans le scénario Net-Zéro	37
Annexe 3.3.1 Consommation d'énergie du Ciment (Net Zéro)	37
Annexe 3.3.2 Emissions du Ciment (Net Zéro)	38
Annexe 3.3.3 Couts d'investissement	40
Annexe 4 – Focus – Dessalement de l'eau de mer.....	41
Annexe 4.1 Hypothèses et méthodologie de calcul.....	41
Annexe 4.2 Résultats de la modélisation	42
Annexe 4.2.1 Consommation d'énergie du Dessalement de l'eau de mer ..	42

Annexe 5 – Focus – Phosphates	43
Annexe 5.1 Hypothèses et méthodologie de calcul des phosphates	43
Annexe 5.2 Le sous-secteur des Phosphates dans le scénario de référence	44
Annexe 5.2.1 Consommation d'énergie des Phosphates (Référence)	44
Annexe 5.2.2 Emissions des Phosphates (Référence)	45
Annexe 5.3 Le sous-secteur des Phosphates dans le scénario Net-Zéro	46
Annexe 5.3.1 Consommation d'énergie des Phosphates (Net Zéro)	46
Annexe 5.3.2 Emissions des Phosphates (Net Zéro)	47
Annexe 5.3.3 Coûts d'investissement	48

Avertissement

Les scénarios présentés, issus du travail de modélisation des différents plans nationaux et mesures de décarbonation, sont à utiliser avec précaution. Le degré élevé de détail fourni ne doit pas mener à sous-estimer les incertitudes à plusieurs niveaux. Impacts de la situation nationale et internationale sur les politiques choisies et développées, évolution des priorités ministérielles relatives, évolution du développement technologique au niveau international, possibles nouvelles connaissances et données sur le contexte local, hypothèses de modélisation : tous ces éléments impactent significativement les scénarios présentés ici. Pour ces raisons, une mise à jour des scénarios régulière permettrait d'affiner les trajectoires dessinées ici, prenant en compte l'évolution réelle de la situation économique, environnementale et sociale, ainsi que la disponibilité de nouvelles données techno-économiques pour la modélisation.

Les principales incertitudes associées à la modélisation du secteur de l'industrie portent sur l'évolution future de la structure de l'industrie marocaine¹ ainsi que la capacité des industriels à modifier leurs process de production en vue de changer leur mix énergétique et dans certaines industries (ciments et phosphates) de réduire les émissions PIUP voire capturer le CO₂ en vue de son stockage. Le développement d'une industrie de l'hydrogène vert est également une condition de réussite du scénario net-zéro.

¹ C'est-à-dire le poids relatif de chaque secteur dans le PIB ou la production en volume.

Introduction

Les Plans Sectoriels de Décarbonation (PSD) ont pour objectif de proposer des trajectoires de réduction des émissions de gaz à effets de serre (GES) permettant au Maroc d'atteindre le net-zéro d'ici à 2050. Six PSD ont été préparés pour les secteurs suivants : bâtiment, approvisionnements en énergie, transports, industrie, agriculture-forêts et déchets.

Les PSD sont basés sur le travail de modélisation très fin réalisé par SEI US à l'aide du modèle LEAP. La concertation et les échanges approfondis avec les acteurs nationaux a permis de traduire la vision marocaine dans un ensemble de scénarios intégrés et cohérents entre secteurs et sous-secteurs.

Au sein de chaque secteur, les actions permettant d'atteindre l'objectif net-zéro en 2050 correspondent aux différentes hypothèses qui sous-tendent la modélisation LEAP. Celles-ci ont été proposées et discutées lors des ateliers de consultation avec les parties prenantes et validées in fine par le comité de pilotage. Elles s'appuient sur les axes de réduction des émissions figurant dans la Contribution Déterminée Nationalement (CDN) pour la période allant jusqu'à 2030, sur des mesures complémentaires figurant dans les stratégies sectorielles et enfin, sur des mesures additionnelles, plausibles mais également ambitieuses, nécessaires pour atteindre le net-zéro en 2050.

Les PSD donnent donc une vision précise des changements techno-économiques et des efforts de décarbonation à opérer pour atteindre l'objectif de décarbonation à 2050. Les politiques et mesures correspondantes seront définies grâce à l'appropriation de ces résultats par les différents ministères concernés.

L'analyse qui suit porte sur la période 2020-2060, 2020 étant l'année de base de la modélisation et 2060, l'année de fin de la modélisation. Néanmoins, il est important de souligner que le scénario Net-Zéro est construit de manière à atteindre des émissions nettes nulles en 2050 pour le Maroc dans son ensemble.

Les résultats de la modélisation LEAP présentés dans ce document sont tirés de la version lt-leds maroc v0.120.

1. Enjeux du secteur

1.1. Place du secteur de l'industrie dans les émissions de GES du pays

Les émissions directes du secteur de l'industrie comprennent deux catégories principales :

- Les émissions « énergie » liées à la combustion d'énergies fossiles pour le fonctionnement des process industriels dans les différentes branches de l'industrie (hors industries de transformation de l'énergie²).
- Les émissions liées aux Procédés Industriels et à l'Utilisation des Produits (« PIUP »). Les émissions PIUP proviennent principalement des industries du ciment (production de clinker) et des phosphates (production d'acide phosphorique). Des quantités plus faibles d'émissions PIUP sont attribuables à l'industrie des métaux ferreux et non-ferreux et à celle des gaz fluorés.

En 2020, année de base de la modélisation, les émissions du secteur de l'industrie (« combustion » et « PIUP ») représentent 19,0% des émissions totales de GES du Maroc soit 20,3 MtCO₂e³.

² Les émissions générées par les industries du secteur de l'énergie (ex. production d'électricité) ne sont pas incluses dans le périmètre des émissions de l'industrie mais dans celui du secteur de l'énergie

³ On peut noter que si on ajoute les émissions indirectes liées à la consommation d'électricité dans l'industrie (environ 9.5 MTCO₂e), le secteur de l'industrie représente 29.8 MTCO₂e soit 27,9% des émissions totales de GES du Maroc en 2020

Tableau 1 Émissions de GES du Maroc en 2020 (milliers de tonnes de CO₂e)

Branche	Milliers de tonnes métriques de CO ₂ e	%
Demande	41 687	39,0
<i>Agriculture pêche forêt</i>	2 852	2,7
<i>Industrie</i>	13 250	12,4
<i>Résidentiel</i>	8 794	8,2
<i>Tertiaire</i>	606	0,6
<i>Transport</i>	16 185	15,1
Transformation d'énergie	29 927	28,0
Non Energie	35 229	33,0
<i>PIUP⁴</i>	7 003	6,6
<i>Agriculture</i>	16 457	15,4
<i>Déchets</i>	12 351	11,6
<i>UTCAF</i>	-582	-0,5
Total	106 844	100,0
<i>Total Demande Industrie + PIUP</i>	20 253	19,0

Au sein du secteur de l'industrie, les émissions associées à la combustion d'énergies fossiles représentent près des deux-tiers et les émissions PIUP un autre tiers.

Les émissions des GES « énergie » de l'industrie sont dominées par deux secteurs : l'extraction (48,6%) et les produits minéraux non métalliques (34,7%). Ces deux catégories comprennent deux des principales industries consommatrices d'énergie du Maroc à savoir l'extraction de phosphates naturels et la production de ciment. Suivent les Industries Agro-alimentaires (IAA) et la chimie qui représentent chacune environ 5% des émissions industrielles chacune. Les autres branches de l'industrie représentent des émissions nettement plus faibles.

⁴ Contrairement à l'inventaire marocain de GES, la modélisation LEAP des émissions PIUP à 2060 incluent les émissions provenant de la production d'acide phosphorique. Il y a donc une légère différence entre le périmètre des émissions dans LEAP et dans l'inventaire de GES.

Tableau 2 Émissions de GES « énergie » du secteur de l'industrie du Maroc en 2020 (milliers de tonnes de CO₂e)

Branche	Milliers de tonnes métriques de CO ₂ e	%
Alimentation boisson tabac	752	5,7
Autres industries	117	0,9
Chimie	608	4,6
Construction	184	1,4
Extraction (y.c. extraction de phosphates naturels)	6 436	48,6
Fabrications métalliques	214	1,6
Métaux non ferreux	24	0,2
Papier et imprimerie	134	1,0
Produits minéraux non métalliques (y.c. production de ciment)	4 602	34,7
Textiles cuir habillement	178	1,3
Total	13 250	100,0

Comme les émissions de GES combustion, les émissions PIUP sont dominées par l'industrie du ciment (65,9%) et l'industrie du phosphate (29,6%) principalement pour la production d'acide phosphorique. On peut noter que concernant la production et usages de gaz fluorés, il est prévu, dans le cadre de la mise en œuvre du Protocole de Montréal, de réduire de 80% la consommation des HFC au Maroc à horizon 2045.

Tableau 3 Émissions de GES « PIUP » du secteur de l'industrie du Maroc en 2020 (milliers de tonnes de CO₂e)

Branche	Milliers de tonnes métriques de CO ₂ e	%
Industrie minérale (ciment)	4 616	65,9
Industrie des métaux ferreux et non ferreux	206	2,9
Production et usages de gaz fluorés	106	1,5
Phosphates	2 075	29,6
<i>Acide phosphorique</i>	1 981	28,3
<i>Autre</i>	94	1,3
Total	7 003	100,0

1.2. Tendances récentes et actuelles

1.2.1. Consommation d'énergie dans le secteur de l'industrie par branche

La consommation d'énergie dans l'industrie provient pour 42,3% de la branche « Produits minéraux non métalliques ». Au sein de cette branche, la production de ciment représente 60% de la demande d'énergie.

Les autres branches fortement consommatrices d'énergie sont l'extraction de minerais (15,3%) et en particulier les phosphates⁵, la chimie (13,6%) et les industries agro-alimentaires (IAA) avec 11,1%. On peut aussi noter que les deux premières branches ont connu une croissance rapide de leur consommation énergétique sur la période 2013-2020 : +16,4% en moyenne annuelle pour la chimie et +2,5% pour l'extraction, à comparer à +0,9% pour l'industrie dans son ensemble.

La branche « produits minéraux non métalliques » qui domine la consommation énergétique industrielle a vu sa demande baisser de 1,8% par an entre 2007 et 2020.

Tableau 4 Demande d'énergie par branche industrielle entre 2013⁶ et 2020 (ktep)

Branche	2013	2020	Part 2020 en %	TCAM 2013-2020
Alimentation boisson tabac	378	366	11,1	-0,4%
Autres industries	105	129	3,9	2,9%
Chimie	155	448	13,6	16,4%
Construction	73	79	2,4	1,1%
Extraction	424	505	15,3	2,5%
Fabrications métalliques	169	184	5,6	1,2%
Métaux non ferreux	7	7	0,2	-0,3%
Papier et imprimerie	70	66	2,0	-0,8%
Produits minéraux non métalliques	1 588	1 395	42,3	-1,8%

⁵ L'extraction de roches phosphatées représente 56% de la demande d'énergie du secteur « extraction »

⁶ Les données de consommation d'énergie avant 2013 ne sont pas disponibles pour toutes les branches. L'analyse porte donc sur la période 2013-2020.

Textiles cuir habillement	120	119	3,6	-0,1%
Total	3 089	3 298	100,0	0,9%

1.2.1.Mix énergétique du secteur de l'industrie

Les énergies dominantes du mix énergétique de l'industrie en 2020 sont l'électricité (33,7%), le coke de pétrole⁷ (23,4%), le fioul (19,1%) et le diesel (11,7%). Les énergies qui ont progressé plus rapidement que la moyenne sur la période 2004-2020 sont le diesel (+6,4%), l'électricité (+4,8%) et le gaz naturel (+4,6%). A noter la part faible (2,6%) du gaz naturel dans l'industrie marocaine.

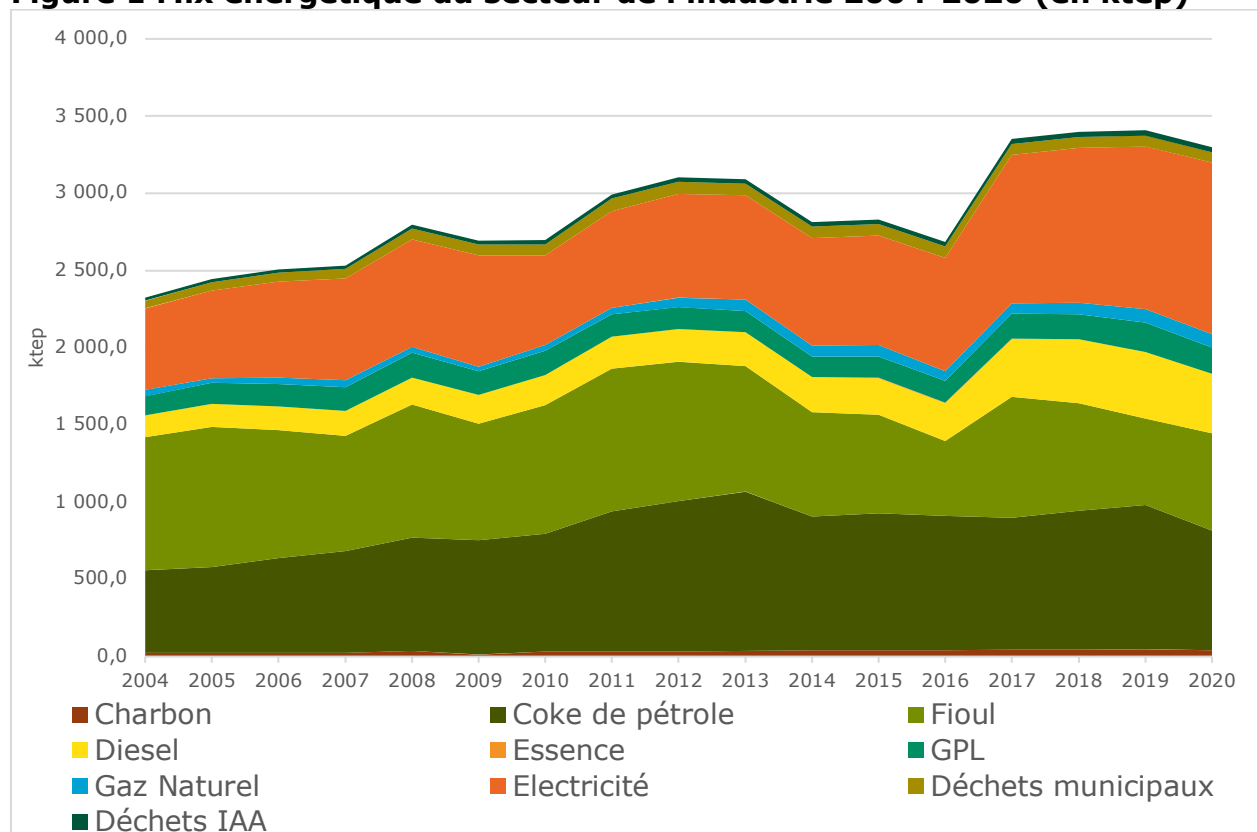
Depuis 2004, on a donc assisté à une électrification progressive de l'industrie marocaine, la part de l'électricité étant passée de 22,7% à 33,7%.

Tableau 5 Demande d'énergie dans l'industrie par type d'énergie entre 2004 et 2020 (ktep)

Type d'énergie	2004	Part 2004	2020	Part 2020	TCAM 2004-2020
Electricité	529	22,7	1 112	33,7	4,8%
Gaz Naturel	43	1,8	87	2,6	4,6%
Essence	1	0,0	2	0,1	3,7%
Diesel	142	6,1	385	11,7	6,4%
Fioul	860	37,0	631	19,1	-1,9%
GPL	122	5,3	168	5,1	2,0%
Charbon	24	1,0	42	1,3	3,5%
Déchets municipaux	50	2,1	66	2,0	1,8%
Coke de pétrole	535	23,0	771	23,4	2,3%
Déchets IAA	21	0,9	33	1,0	2,9%
Total	2 326	100,0	3 298	100,0	2,2%

⁷ Le coke de pétrole est consommé majoritairement (à 80%) dans les cimenteries.

Figure 1 Mix énergétique du secteur de l'industrie 2004-2020 (en ktep)



2. Le secteur en 2050 dans le scénario de net-zéro

2.1. Consommation énergétique du secteur industrie dans le scénario net-zéro

Dans le scénario net-zéro, la demande d'énergie finale du secteur de l'industrie serait inférieure de 12,4% en 2050 à celle du scénario de référence⁸ soit une demande évitée de 941 ktep. Une partie significative de cette demande évitée, environ les deux-tiers, proviendrait des mesures d'efficacité⁹ mises en œuvre dans le scénario net-zéro.

Les secteurs les plus importants en termes de demande d'énergie resteraient les mêmes que dans le scénario de référence à savoir : les produits minéraux non métalliques, le secteur de l'extraction, la chimie et les IAA. Ces quatre secteurs représenteraient à eux seuls 81% de la demande totale de l'industrie à l'horizon 2050.

Dans les scénarios net-zéro, deux nouvelles activités apparaissent :

- La production d'énergies renouvelables (solaire PV) par OCP sur ses sites industriels à hauteur de 2,4 TWh (ou 209 ktep). Celle-ci est une autoconsommation de l'industrie des phosphates qui apparaît comme une demande négative dans le secteur de l'industrie.
- La demande d'énergie nécessaire à l'élimination synthétique du CO₂ (culture et enfouissement de microalgues) et qui représente 182 ktep en 2050

⁸ Une analyse détaillée du scénario de référence est donnée en annexe 1

⁹ L'hypothèse concernant l'efficacité énergétique dans l'industrie prévoit des gains d'efficacité énergétique de 17% de 2021 à 2030 puis de 10% entre 2030 et 2060.

Figure 2 Demande d'énergie finale de l'industrie par branche dans le scénario net-zéro (ktep)

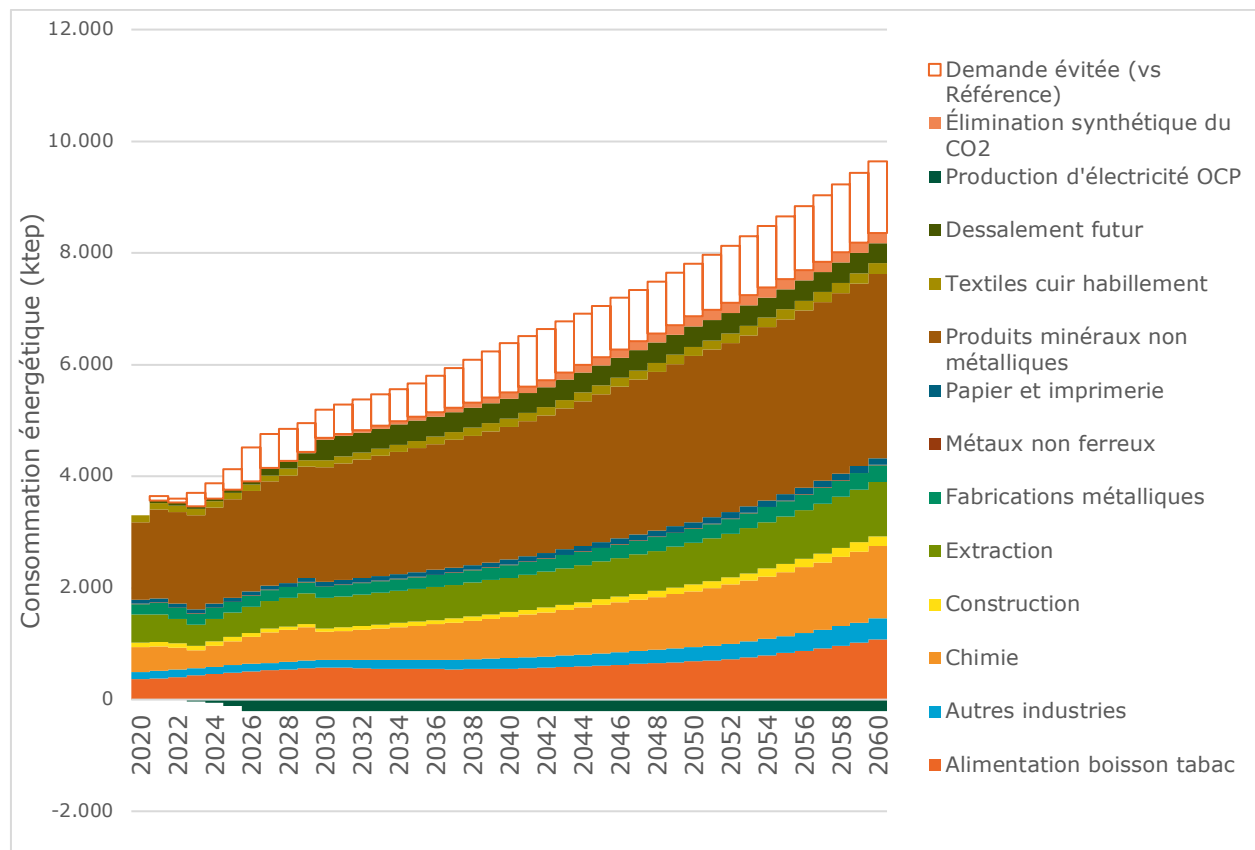


Tableau 6 Demande d'énergie finale de l'industrie par branche dans le scénario net-zéro (ktep)

(ktep)	2020	2030	2040	2050	TCAM (2020- 2050)	2060
Alimentation boisson tabac	366	577	556	687	2,1%	1 076
Autres industries	129	137	185	252	2,3%	374
Chimie	448	496	739	1 002	2,7%	1 299
Construction	79	65	88	119	1,4%	173
Extraction	505	548	617	746	1,3%	975
Fabrications métalliques	184	203	226	256	1,1%	294
Métaux non ferreux	7	7	8	9	0,9%	10
Papier et imprimerie	66	76	88	107	1,6%	124
Produits minéraux non métalliques	1 395	2 056	2 383	2 972	2,6%	3 303
Textiles cuir habillement	119	127	142	168	1,1%	186
Dessalement futur	-	360	360	360		360
Production d'électricité OCP	-	-209	-209	-209		-209
Élimination synthétique du CO2	-	31	107	182		184
Total	3 298	4 474	5 288	6 652	2,4%	8 149
<i>Demande évitée (vs Référence)</i>		506	882	941		1 278

Dans le scénario net-zéro, le mix énergétique de l'industrie change très significativement par rapport au mix énergétique du scénario de référence ; à l'exception de la part de l'électricité qui reste pratiquement inchangée (35% en 2050).

Pour mémoire, le scénario de référence présente un mix dominé par l'électricité, le fioul, le diesel et le coke de pétrole sur toute la période 2020-2050. Dans le scénario net-zéro, on assisterait à une réduction des volumes de diesel (-1,9% par an d'ici à 2050), de fioul (-10,7% par an) et de coke de pétrole (-2,1% par an). A l'inverse, on assisterait à une très forte augmentation des volumes de gaz naturel (+8,1% par an) et de déchets (IAA et ménagers) consommés dans l'industrie (+10,5% par an).

Autre changement notable, l'introduction de l'hydrogène comme source d'énergie décarboné d'importance majeure et qui représenteraient 19% de la demande finale de l'industrie en 2050.

Au global, on peut noter que les utilisations résiduelles de combustibles fossiles persistent avec 26 % de la demande finale de l'industrie en 2050 mais que la part

des énergie non carbonées (électricité, hydrogène et renouvelables, y compris les déchets) passe à 74% contre 37% en 2020.

Figure 3 Demande d'énergie finale de l'industrie par type d'énergie dans le scénario net-zéro (ktep)

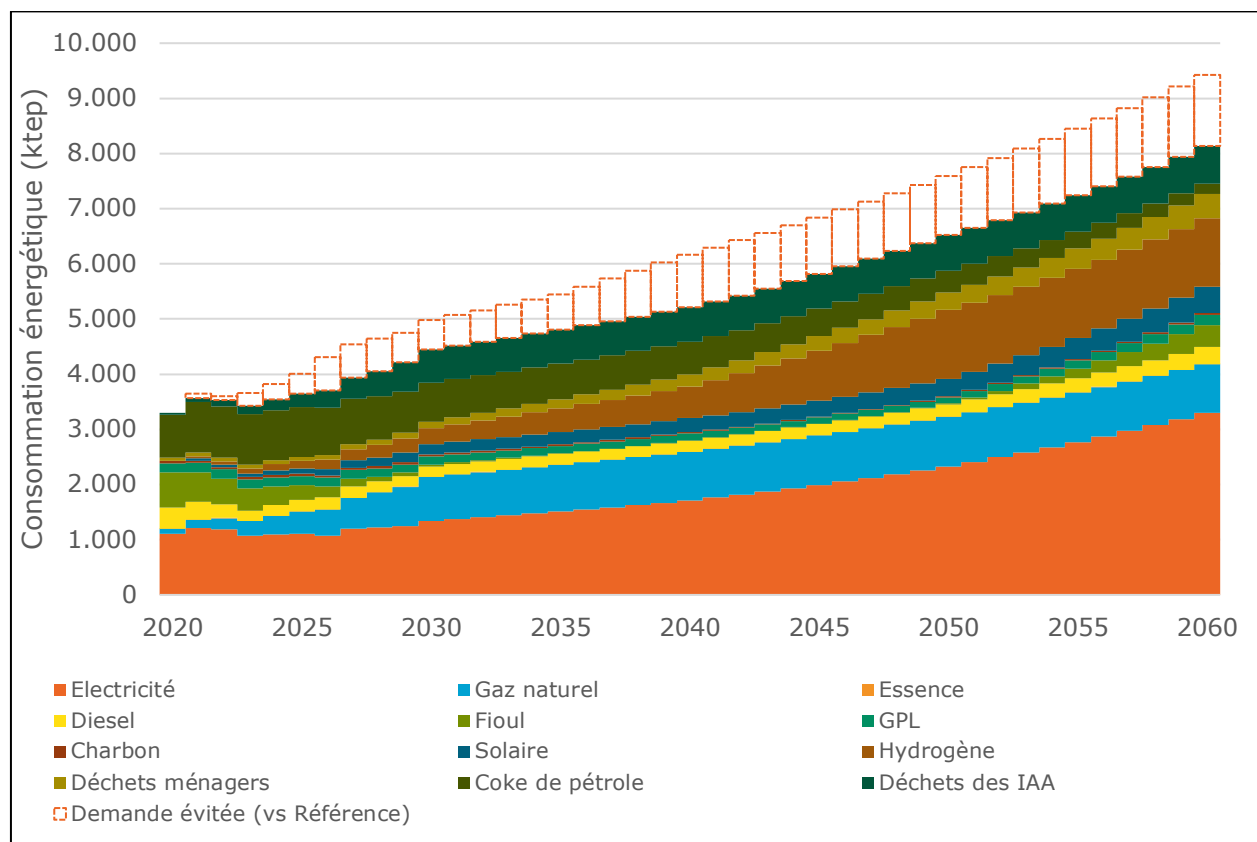


Tableau 7 Demande d'énergie finale de l'industrie par type d'énergie dans le scénario net-zéro (ktep)

(ktep)	2020	2030	2040	2050	TCAM (2020-2050)	2060
Electricité	1 112	1 344	1 712	2 327	2,5%	3 300
Gaz naturel	87	794	876	904	8,1%	883
Essence	2	2	2	2	0,5%	4
Diesel	385	184	203	218	-1,9%	304
Fioul	631	43	6	21	-10,7%	400
GPL	168	143	126	111	-1,4%	188
Charbon	42	37	24	18	-2,9%	34
Solaire	-	197	278	360		447
Hydrogène	-	288	576	1 246		1 246
Déchets ménagers	67	116	214	314	5,3%	433
Coke de pétrole	772	705	595	403	-2,1%	196
Déchets des IAA	33	607	626	645	10,5%	675
Total	3 298	4 460	5 239	6 568	2,3%	8 109
<i>Demande évitée (vs Référence)</i>	-	520	932	1 025		1 317
<i>Part de l'électricité (%)</i>	34%	30%	33%	36%		41%
<i>Part des combustibles fossiles (%)</i>	63%	43%	35%	26%		25%
<i>Part des renouvelables</i>	3%	27%	32%	39%		35%

2.2. Émissions de GES du secteur industrie dans le scénario net-zéro

2.2.1. Émissions totales de l'industrie dans le scénario net-zéro

Les émissions totales de GES de l'industrie dans le scénario net-zéro s'établiraient à 1,3 MtCO₂ en 2050 contre 37,2 MtCO₂ dans le scénario de référence soit une baisse de 97%. Les émissions « énergie » de l'industrie deviendraient négatives à partir de 2039 alors que les émissions PIUP resteraient largement inchangées sur la période 2020-2050.

Rappelons qu'aussi bien les émissions « énergie » que les émissions « PIUP » doubleraient dans le scénario de référence entre 2020 et 2050 (plus de détails en annexe 2).

Figure 4 Émissions énergie et PIUP du secteur de l'industrie dans le scénario net-zéro et de référence 2020-2060 (milliers de tonnes de CO₂e)

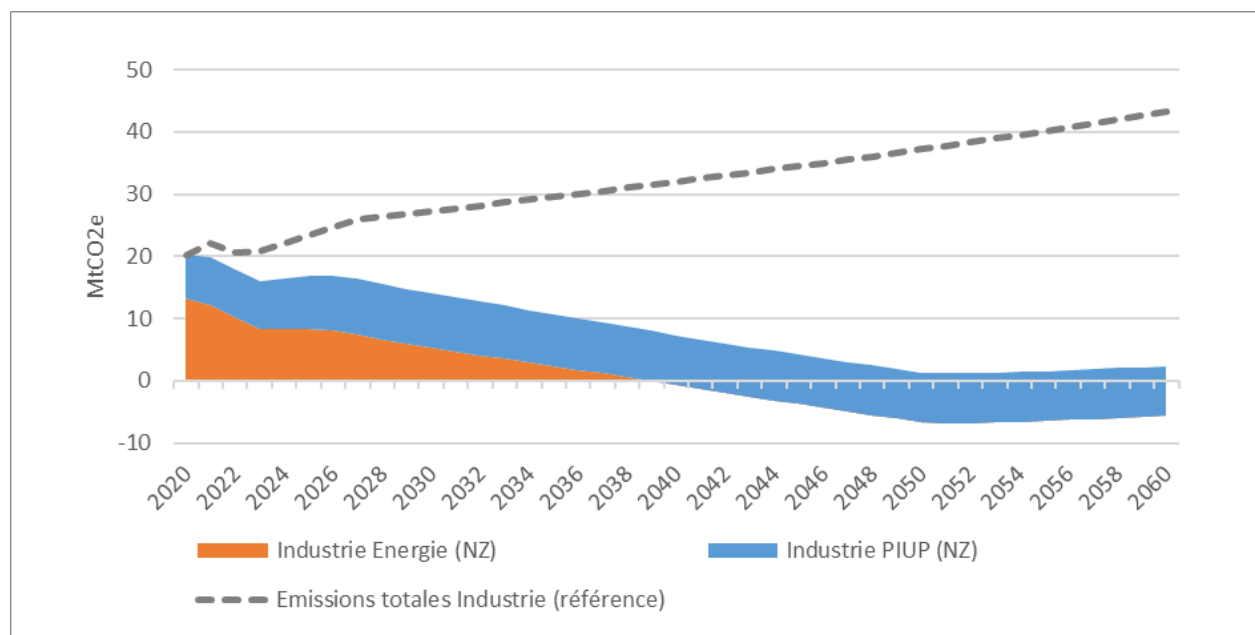


Tableau 8 Émissions énergie et PIUP du secteur de l'industrie dans le scénario net-zéro et de référence 2020-2060 (milliers de tonnes de CO₂e)

(ktCO ₂ e)	2020	2030	2040	2050	2060
Émissions de GES de l'industrie dans le scénario net-zéro (en ktCO₂e)					
Émissions énergie	13 250	5 310	-590	-6 700	-5 630
Émissions PIUP	7 003	8 680	7 900	7 990	8 000
Émissions Totales Industrie	20 253	13 990	7 310	1 290	2 370
Émissions de GES de l'industrie dans le scénario de référence (en ktCO₂e)					
Émissions énergie	13 250	16 941	19 767	23 185	27 558
Émissions PIUP	7 003	10 330	12 237	14 009	15 759
Émissions Totales Industrie	20 253	27 271	32 004	37 194	43 317

2.2.2.Émissions de l'industrie liées à la combustion d'énergies fossiles dans le scénario net-zéro

La réduction drastique des émissions énergie de l'industrie sont obtenues grâce notamment à la décarbonation de la production du phosphate et du ciment d'une part et à la culture et l'enfouissement de microalgues d'autre part.

On assisterait ainsi dans le scénario net-zéro à la réduction drastique de l'utilisation du fioul, du diesel et du coke de pétrole, et à la montée en puissance concomitante du gaz naturel. L'effort de décarbonation inclut notamment le piégeage du CO₂ des émissions des cimenteries. Les émissions résiduelles en 2050 proviennent surtout du gaz naturel (2,6 MTCO₂e), du coke de pétrole (1,3 MTCO₂e) et du diesel (0,8 MTCO₂e).

De plus, 12,9 MTCO₂e sont capturés en 2050 dans les microalgues (élimination synthétique du CO₂) ce qui permet d'aboutir à des émissions énergie totales négatives pour l'industrie.

Figure 5 Émissions de GES « énergie » de l'industrie par branche dans le scénario net-zéro (milliers de tonnes de CO₂e)

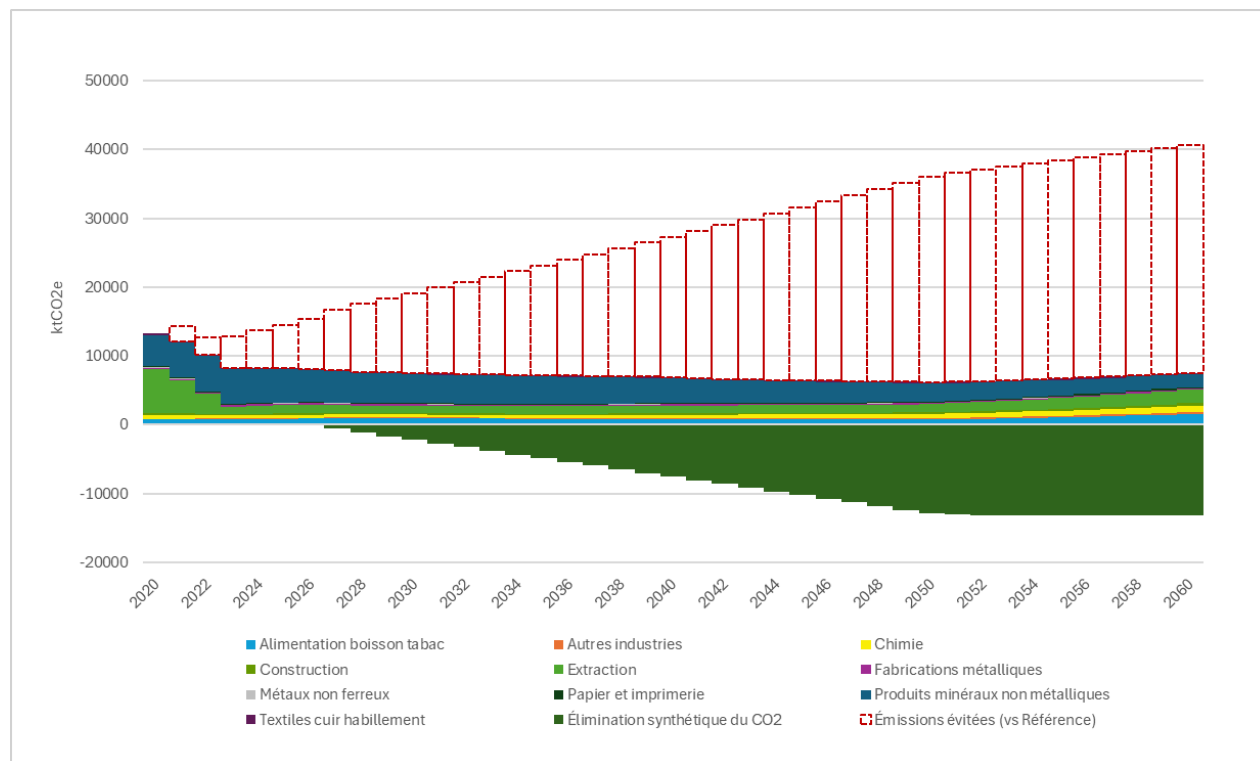
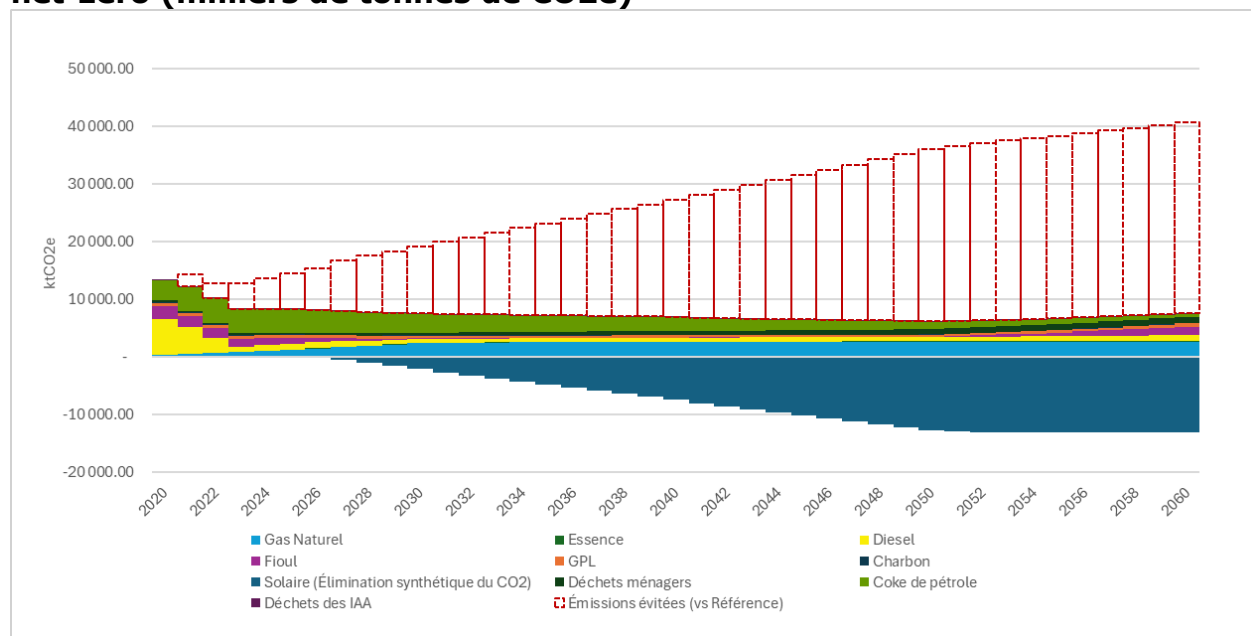


Figure 6 Émissions de GES énergie de l'industrie par énergie dans le scénario net-zéro (milliers de tonnes de CO2e)

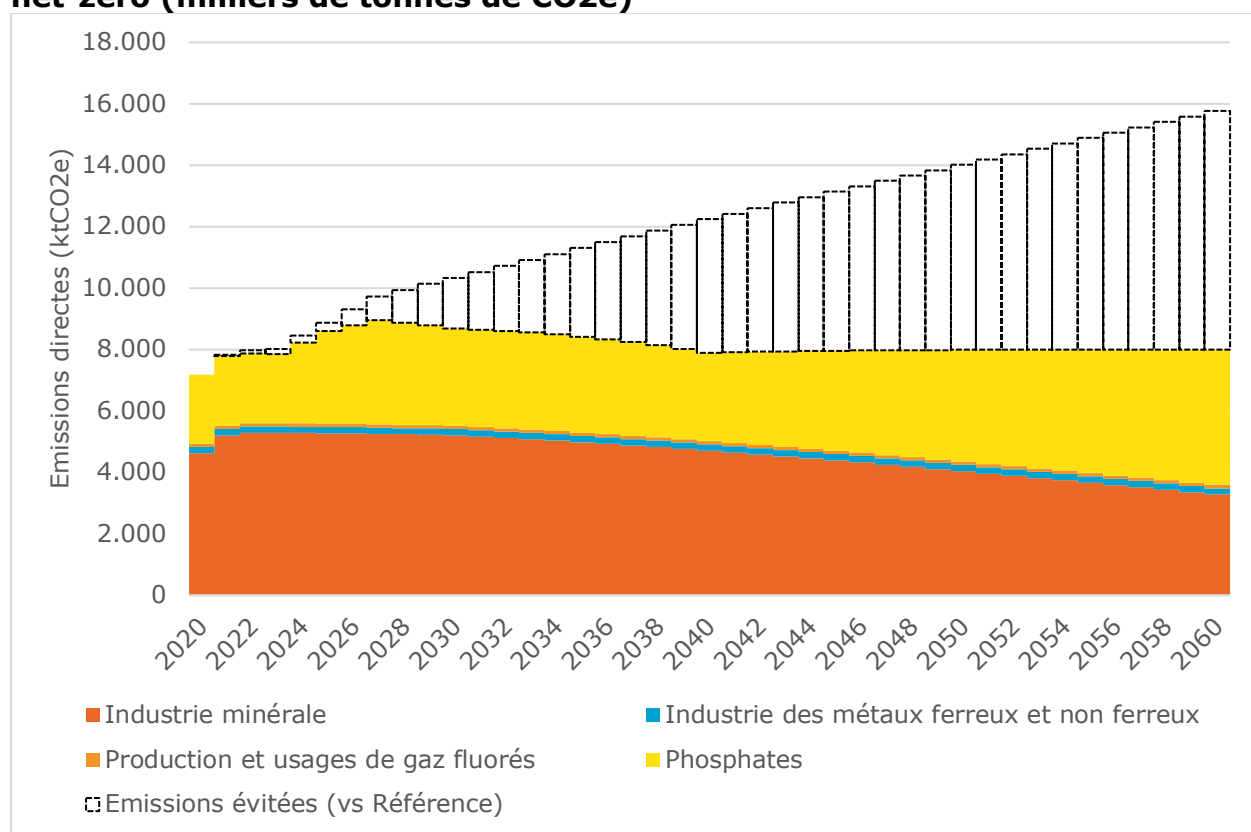


2.2.3.Émissions PIUP de l'industrie dans le scénario net-zéro

Près de 43 % des émissions PIUP annuelles sont évitées dans le scénario net-zéro en 2050 par rapport au scénario de référence (soit 6,0 MTCO₂e). Parmi ces émissions PIUP évitées, 57 % le sont grâce au carbone capturé dans la production de phosphate et 43 % dans la production de ciment. Le reste est dû à l'amélioration du rapport clinker/ciment.

55 % des émissions PIUP restantes se produisent lors de la production de phosphate et 45 % de la production de ciment.

Figure 7 Émissions de GES PIUP de l'industrie par branche dans le scénario net-zéro (milliers de tonnes de CO₂e)



2.3. Coûts d'investissement dans l'industrie dans le scénario net-zéro

Les coûts présentés dans le tableau ci-dessous correspondent aux coûts d'investissement dans des nouveaux équipements nécessaires pour assurer la décarbonation dans l'industrie tant pour les émissions liées à la combustion que pour les émissions PIUP.

Les nouveaux investissements à réaliser concernent la capture du CO₂ dans les cimenteries et l'industrie des phosphates, le développement de capacités PV sur les sites industriels, la réduction des émissions PIUP des cimenteries et les modifications de process dans les autres branches de l'industrie.

Tableau 9 Coûts dans le secteur de l'industrie dans le scénario Net-Zéro (Millions de Dollars 2020 réels)

(M\$)	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2051-2060
Coûts d'investissement	7 230	3 411	6 265	8 473
Coûts sociaux – PIUP	461	3 382	6 122	8 111
Couts totaux	7 690	6 792	12 387	16 584

3. Mesures à implémenter pour atteindre le scénario Net Zéro dans le secteur de l'industrie

Les tableaux suivants décrivent les mesures à implémenter pour atteindre le scénario Net Zéro dans le secteur de l'industrie. Les mesures sont celles qui ont été chiffrées et modélisées en vue d'atteindre le net-zéro d'ici à 2050 ou 2060.

Trois familles de mesures sont présentées :

- Les mesures d'ordre général qui s'appliquent à l'industrie dans son ensemble
- Les mesures spécifiques au secteur du ciment
- Les mesures spécifiques au secteur des phosphates

Tableau 10 Mesures d'atténuation d'ordre général du scénario net-zéro pour le secteur de l'industrie

Mesures	Source / Document	Notes	Chiffrage
Programme d'EE dans l'industrie sur la période 2020-2030 Programme étendu à la période 2031-2050	CDN		Gain d'efficacité de 17 % sur la période 2020-2030 Gain d'efficacité de 10 % supplémentaire sur la période 2031-2050
Hausse de l'utilisation du gaz naturel dans l'industrie sur la période 2020-2030	CDN	Objectif de remplacement du mazout / fioul	Hausse de l'utilisation de gaz naturel à hauteur de 800 ktep à l'horizon 2060
Programme de valorisation de la biomasse dans l'industrie sur la période 2020-2030	CDN	Valorisation des déchets des IAA et des déchets ménagers en remplacement des combustibles fossiles	Valorisation énergétique de 1 000 ktep à l'horizon 2060
Programme d'installation de PV l'industrie sur la période 2020-2030	CDN	Installation PV sur toiture des sites industriels	Capacités PV de 1 500 MW installées sur la période 2020-2030
Utilisation de l'hydrogène vert¹⁰	Feuille de route de l'hydrogène	Utilisation d'hydrogène vert dans certains usages thermiques industriels	Correspond à une augmentation de l'utilisation de l'hydrogène à 1 246 ktep à l'horizon 2060

¹⁰ La production d'hydrogène vert ne génère pas d'émissions de GES car elle est entièrement basée sur des électrolyseurs alimentés par des énergies renouvelables, éolien et solaire hors réseau.

Mesures	Source / Document	Notes	Chiffrage
	vert (scénario optimiste)	Utilisation d'hydrogène vert pour la production de matières premières (ammoniaque)	En 2060, l'industrie représenterait 28% de la demande marocaine d'H2O vert, notamment pour la production de ciment (57% de la demande d'H2O vert de l'industrie)

Tableau 11 Mesures d'atténuation spécifiques au secteur des phosphates du scénario net-zéro

Mesures	Source / Document	Notes	Chiffrage
Développement de la cogénération sur la période 2020-2030	CDN	Développement de centrales thermiques avec systèmes de récupération de chaleur	Non disponible
Installation de capacités d'énergies renouvelables dans l'industrie des phosphates	Analyse LT-LEDS / OCP	100% d'énergies renouvelables prévues à l'horizon 2027 pour l'usage propre d'OCP (2 ^{ème} plan d'investissement d'OCP)	Développement de capacités PV de 1 200 MW Production de 2,4 TWh à l'horizon 2060
Séchage du phosphate	Analyse LT-LEDS / OCP	Objectif de remplacement du fioul n°2	Séchage du phosphate 100% propre à l'horizon 2030
Pipeline à boues de Khouribga - Jorf Lasfar	CDN	Pipeline développé en remplacement du transport par train	Non disponible ¹¹
Captage du CO ₂	Analyse LT-LEDS / OCP	Concerne les émissions de procédés	Captage de 25 % des émissions de procédés d'ici à 2030 et de 50 % à l'horizon 2040
Transport sur sites miniers	Analyse LT-LEDS		Transport minier 100 % propre d'ici à 2030

Tableau 12 Mesures d'atténuation spécifiques au secteur du ciment du scénario net-zéro

¹¹ Impacts sur l'énergie / les émissions non modélisés car données insuffisantes au moment de la réalisation du modèle

Mesures	Source / Document	Notes	Chiffrage
Valorisation des déchets sur la période 2020-2030	CDN	Déchets considérés : pneus usés, boues de STEP, déchets ménagers, grignons d'olive	Utilisation des déchets en remplacement du coke de pétrole (- 508 ktep à l'horizon 2060)
Valorisation des cendres volantes	CDN		Réduction de l'utilisation du clinker à un rapport clinker /ciment jusqu'à 0,65
Augmentation de l'efficacité énergétique	Analyse LT-LEDS / APC ¹²	Amélioration de la consommation d'électricité et de chaleur dans les actifs existants sans changements ou investissements majeurs	Gain d'efficacité de 3 % d'ici 2030 et de 10 % d'ici 2050
Remplacement des combustibles fossiles par des déchets agro-alimentaires	Analyse LT-LEDS / APC ¹³	Vise les usages thermiques	44% de l'énergie thermique d'ici 2030 et 60% d'ici 2060) Hausse de la part de l'électricité dans la consommation énergétique des cimenteries à 20% d'ici 2050
Ciment - Captage et stockage du CO2 des cimenteries	Analyse LT-LEDS / APC	Concerne les émissions énergie et les émissions de procédés	Captage et stockage de 50% des émissions d'ici à 2060 (augmentation progressive à partir de 2031) ¹⁴ Hypothèse d'utilisation d'une technologie générale de capture du carbone par absorption sur membrane de postcombustion.

¹² APC : Association Professionnelle des Cimentiers

¹³ Un protocole d'accord entre l'État et l'APC a été signé en vertu duquel les cimenteries se sont engagés à acheter 680 kt de RDF en substitution aux combustibles fossiles (coke de pétrole, fioul, ...)

¹⁴ Le CO2 serait stocké dans des cavités souterraines au Maroc qui dispose d'un potentiel d'injection souterraine de 0,4 GT (au taux annuel maximum de 4 à 8 MT).

Annexes

Annexe 1 - Liste exhaustive des mesures techniques de décarbonation

Tableau 13 Liste exhaustive des mesures

Source	Mesure	Impacts sur l'énergie / les émissions modélisés	Coûts modélisés	Notes
CDN	Programme d'efficacité énergétique dans l'industrie de 17 %, 2020-2030	Oui	Oui	
Extension d'une mesure CDN	Augmentation des améliorations globales de l'efficacité énergétique dans l'industrie de 10 % supplémentaires, 2031-2050	Oui	Non	
CDN	Gaz naturel dans le secteur industriel à l'horizon 2030, 2020-2030	Oui	Oui	
CDN	Programme de valorisation de la biomasse dans l'industrie, 2020-2030	Oui	Oui	
CDN	Programme d'installation d'énergies renouvelables (PV) de 1 500 MW, 2020-2030	Oui	Oui	
Feuille de route de l'hydrogène 2021	Utilisation de l'hydrogène pour remplacer les combustibles thermiques (6,7 TWh d'ici 2040 et 14,5 TWh d'ici 2050)	Oui	Oui	Pas de données sur le coût différentiel des équipements utilisant de l'hydrogène dans le secteur industriel, la production d'hydrogène elle-même est chiffrée
CDN	Ciment - Valorisation déchets: pneus usés, boues de STEP, déchets ménagers, grignons d'olive, 2020-2030	Oui	Oui	Comprend l'accord avec le Ministère de l'Intérieur sur l'achat de 650 Mille t de RDF à l'horizon 2030

Source	Mesure	Impacts sur l'énergie / les émissions modélisés	Coûts modélisés	Notes
Analyse LT-LEDS/APC	Ciment - Augmentation de l'efficacité de 3 % d'ici 2030 et de 10 % d'ici 2050	Oui	Oui	
CDN/Analyse LT-LEDS/APC	Ciment - Remplacement des combustibles fossiles utilisé pour l'énergie thermique par des déchets DMA : 9 % de l'énergie thermique d'ici 2030 et 40 % d'ici 2060 Déchets agro-alimentaires : 13 % de l'énergie thermique d'ici 2030 et 18 % d'ici 2060) et utilisation partielle de l'électricité (20 %) d'ici 2060	Oui	Oui	
CDN	Ciment - Valorisation cendres volantes pour une réduction de l'utilisation du clinker a un rapport clinker /ciment jusqu'à 0,65	Oui	Oui	
Analyse LT-LEDS/APC	Ciment - Piégeage du carbone de 50 % des émissions des cimenteries d'ici à 2060 (augmentation progressive à partir de 2031)	Oui	Oui	
CDN	Phosphates - Cogénération, 2020-2030	Oui	Oui	
CDN	Phosphates - Energie solaire, 2020-2030	Non	Non	Remplacé par le développement de la capacité ER du plan d'investissement OCP dans le scenario Net Zéro
Analyse LT-LEDS	Phosphates - Installation de 1,2 GW de capacité ER du plan d'investissement OCP	Oui	Oui	

Source	Mesure	Impacts sur l'énergie / les émissions modélisés	Coûts modélisés	Notes
Analyse LT-LEDS/OCP	Phosphates - Séchage 100% propre du phosphate à l'horizon 2030	Oui	Non	
CDN	Phosphates - Slurry pipeline Khouribga - Jorf Lasfar	Non	Non	Données insuffisantes au moment de la réalisation du modèle
Analyse LT-LEDS/OCP	Phosphates - Captage du CO2 de 25 % et 50 % des émissions de processus d'ici 2030 et 2040 respectivement	Oui	Oui	
Analyse LT-LEDS	Phosphates - Transport minier 100 % propre d'ici à 2030	Oui	Non	

Annexe 2 - Le secteur en 2050 dans le scénario de référence

Consommation énergétique du secteur industrie dans le scénario référence

Dans le scénario de référence, il est attendu que la demande d'énergie à l'horizon 2050 pourrait plus que doubler (x2,3) tirée par la croissance du PIB et plus spécifiquement, la croissance de la valeur ajoutée dans chaque branche. Les taux de croissance projetés par branche sont basés sur des tendances historiques et varient donc d'une branche à l'autre¹⁵.

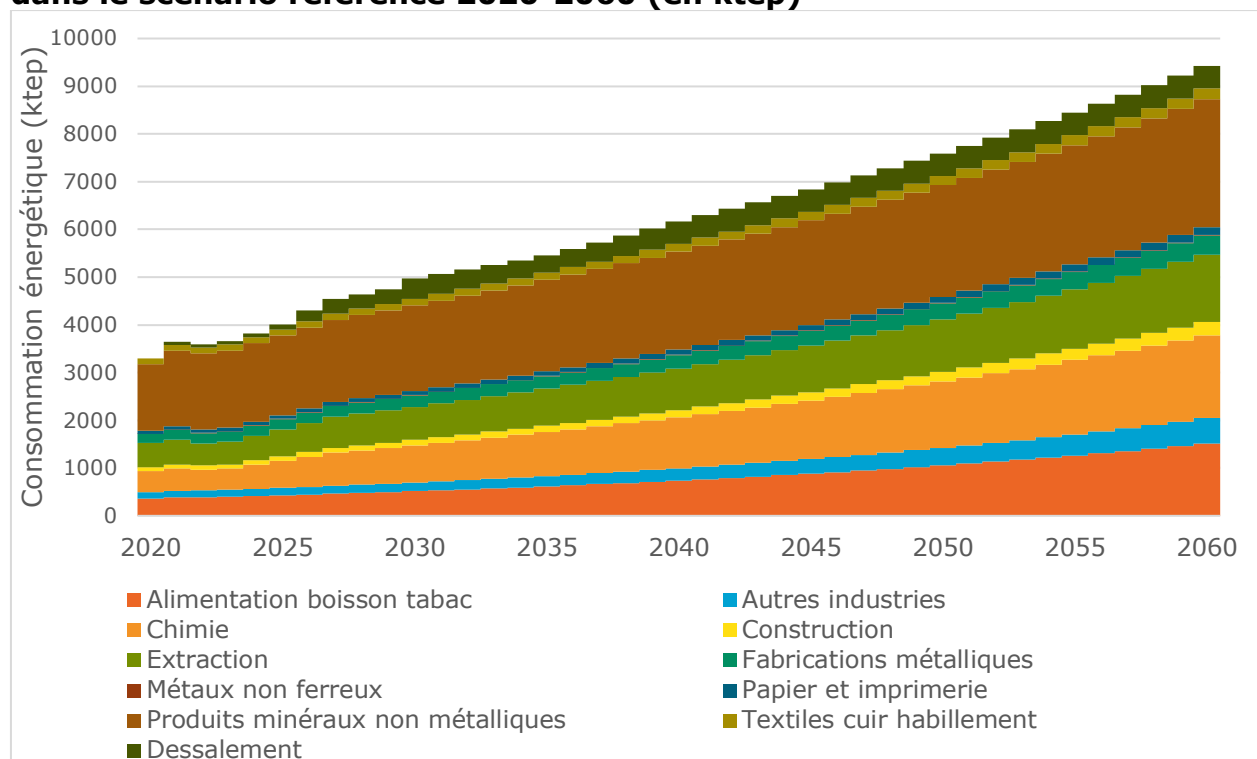
Les secteurs les plus importants en termes de demande d'énergie resteraient les mêmes qu'en 2020 à savoir : les produits minéraux non métalliques, le secteur de l'extraction, la chimie et les IAA. En plus des branches industrielles, une demande d'énergie provient des unités de dessalement. La catégorie "dessalement futur" comprend toutes les stations qu'il est prévu de construire jusqu'en 2050.

Tableau 14 Consommation énergétique du secteur de l'industrie par type d'énergie dans le scénario référence 2020-2060 (en ktep)

¹⁵ Une approche différente a été utilisée pour la branche « Alimentation boisson tabac » dans le scénario net-zéro de manière à respecter les objectifs pour cultures cibles à valeur ajoutée de la stratégie « Génération Green 2020-2030 ». Ces objectifs visent à accroître la valeur ajoutée dans la transformation des produits agricoles.

Branche	2020	2030	2040	2050	TCAM (2020-2050)	2060
Alimentation boisson tabac	366	516	738	1 056	3,6%	1 510
Autres industries	129	183	257	368	3,6%	536
Chimie	448	777	1 071	1 388	3,8%	1 740
Construction	79	112	152	205	3,2%	277
Extraction	505	695	868	1 099	2,6%	1 413
Fabrications métalliques	184	238	281	331	2,0%	390
Métaux non ferreux	7	8	10	12	2,0%	14
Papier et imprimerie	66	85	106	133	2,4%	167
Produits minéraux non métalliques	1 395	1 790	2 050	2 334	1,7%	2 678
Textiles cuir habillement	119	140	165	194	1,6%	229
Dessalement futur	-	435	473	473	-	473
Total	3 298	4 980	6 170	7 593	2,8%	9 426

Figure 8 Consommation énergétique du secteur de l'industrie par branche dans le scénario référence 2020-2060 (en ktep)



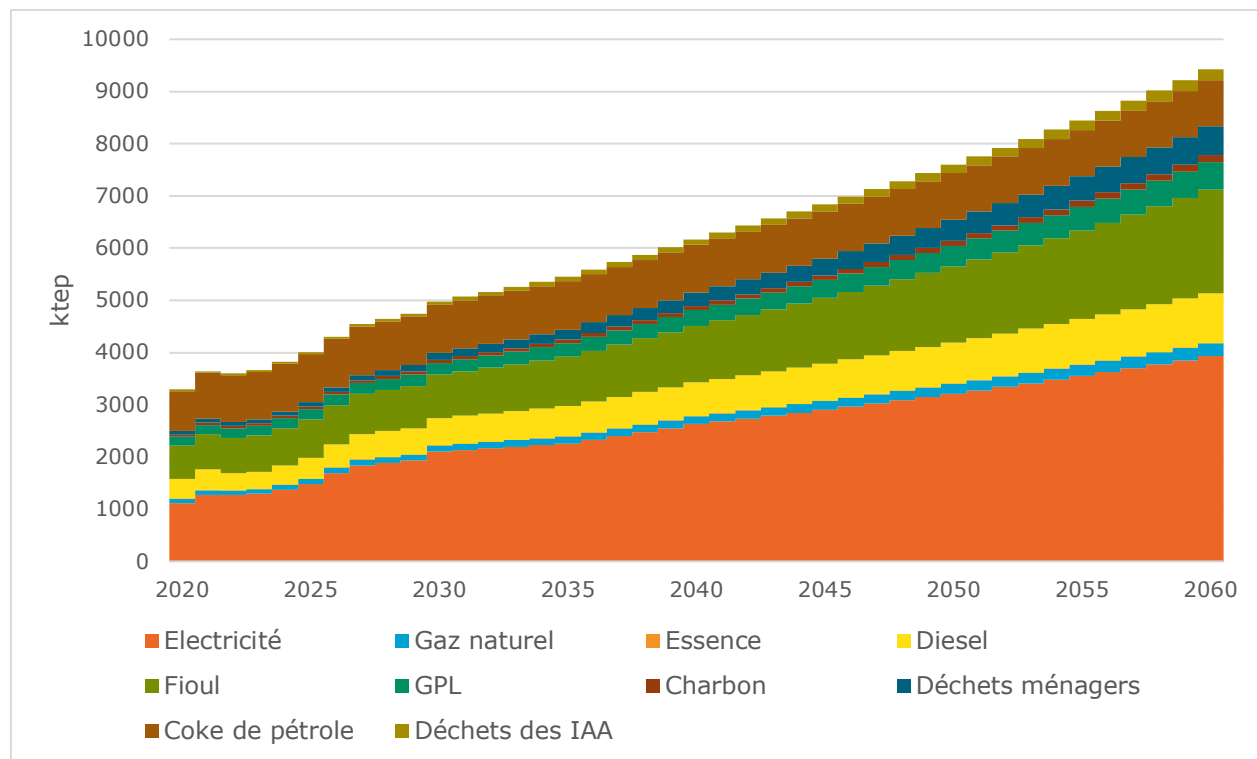
Dans le scénario de référence, la demande resterait dominée par l'électricité, le fioul, le diesel et le coke de pétrole. Sur la période 2020-2050, les énergies dont la croissance serait la plus rapide sont les déchets ménagers et des IAA, l'essence et l'électricité.

La part de l'électricité passerait de 34% en 2020 à 42% en 2050, celle des combustibles fossiles de 63% à 50% et celle des renouvelables (déchets) de 3 à 7%.

Tableau 15 Consommation énergétique du secteur de l'industrie par type d'énergie dans le scénario référence 2020-2060 (en ktep)

Type d'énergie	2020	2030	2040	2050	TCAM (2020-2050)	2060
Electricité	1 112	2 106	2 630	3 211	3,6%	3 928
Gaz naturel	87	117	150	191	2,7%	245
Essence	2	3	4	5	3,4%	7
Diesel	385	518	642	786	2,4%	958
Fioul	631	831	1 088	1 456	2,8%	1 987
GPL	168	225	297	394	2,9%	527
Charbon	42	57	75	100	2,9%	132
Déchets ménagers	66	135	260	396	6,1%	547
Coke de pétrole	771	928	918	896	0,5%	881
Déchets des IAA	33	60	107	158	5,4%	215
Total	3 298	4 980	6 170	7 593	2,8%	9 426
<i>Part de l'électricité (%)</i>	34%	42%	43%	42%	-	42%
<i>Part des combustibles fossiles (%)</i>	63%	54%	51%	50%	-	50%
<i>Part des renouvelables</i>	3%	4%	6%	7%	-	8%

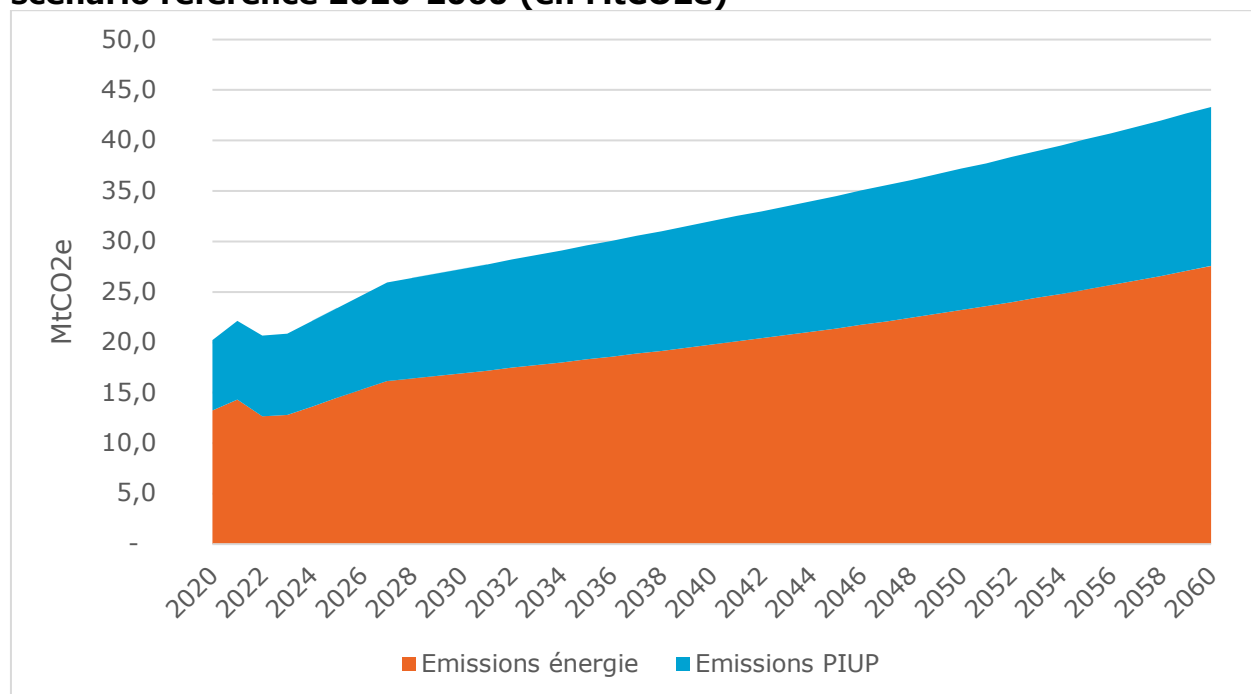
Figure 9 Consommation énergétique du secteur de l'industrie par type d'énergie dans le scénario référence 2020-2060 (en ktep)



Émissions de GES du secteur industrie dans le scénario référence

Les émissions totales de GES de l'industrie dans le scénario de référence augmenteraient de 76% entre 2020 et 2050. La part des GES « énergie » et « PIUP » resterait la même sur la période avec respectivement deux tiers et un tiers des émissions totales de l'industrie.

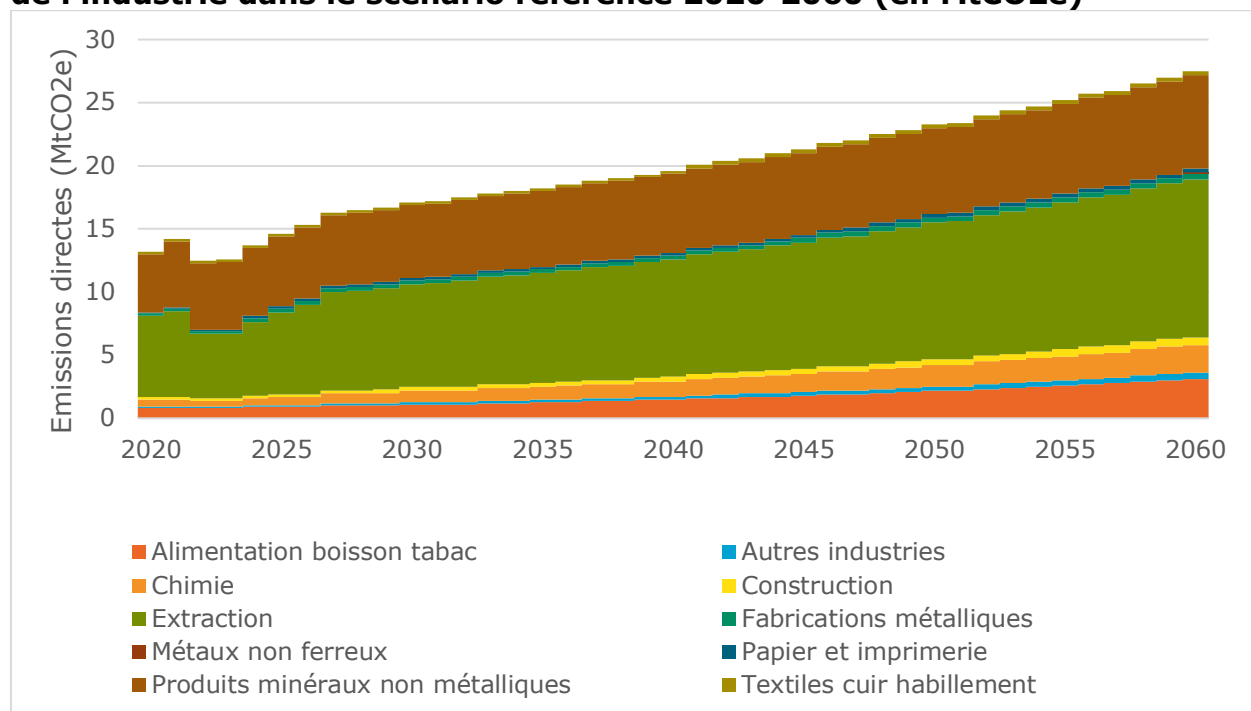
Figure 10 Émissions énergie et PIUP du secteur de l'industrie dans le scénario référence 2020-2060 (en MtCO₂e)



Émissions de l'industrie liées à la combustion d'énergies fossiles dans le scénario référence

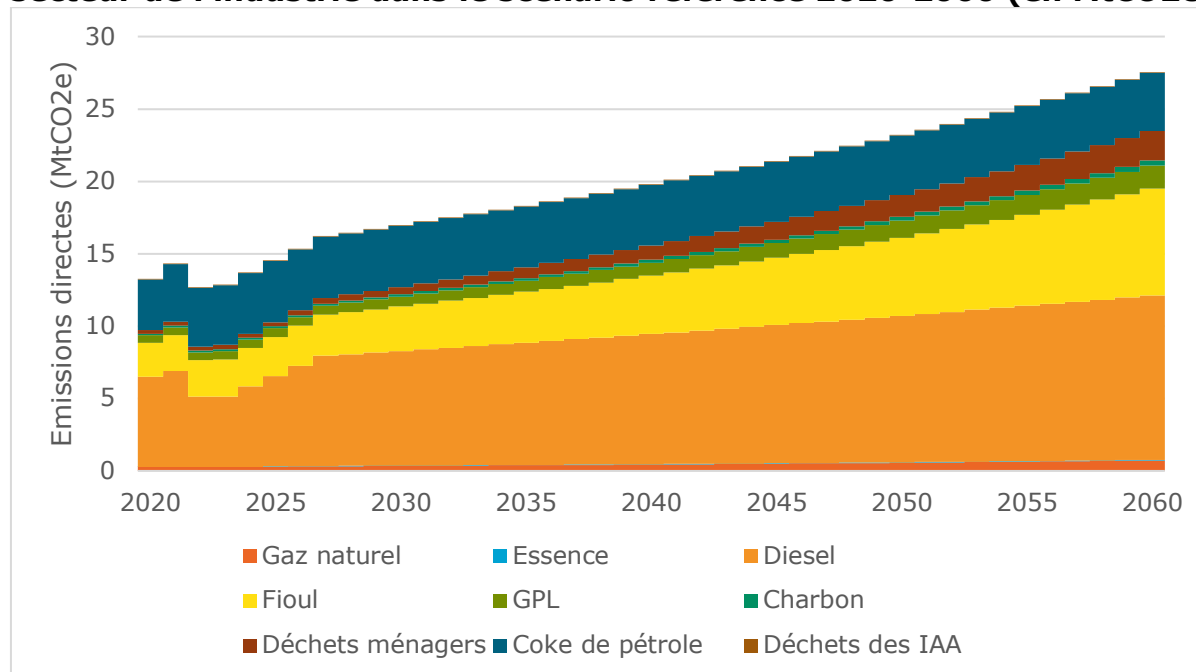
Dans le scénario référence, les émissions de GES énergie sont tirées principalement par la croissance économique des différentes branches. Les émissions de GES « énergie » sont dominées par deux secteurs sur toute la période 2020-2050 : l'extraction et les produits minéraux non métalliques. On peut noter une baisse du poids relatif de ces deux branches dans les émissions et notamment les produits minéraux non métalliques dont la part passe de 35% en 2020 à 29% en 2050. Les branches dont les émissions croissent le plus rapidement sont les IAA et la Chimie.

Figure 11 Émissions liées à la combustion de carburants fossiles du secteur de l'industrie dans le scénario référence 2020-2060 (en MtCO₂e)



Dans le scénario de référence, les émissions de GES énergie de l'industrie proviennent principalement de trois combustibles fossiles : le diesel, le fioul et le coke de pétrole. Sur la période 2020 et 2050, les parts du diesel et du coke de pétrole dans les émissions sont en recul mais celle du fioul augmente.

Figure 12 Parts des différents combustibles dans les émissions énergie du secteur de l'industrie dans le scénario référence 2020-2060 (en MtCO2e)

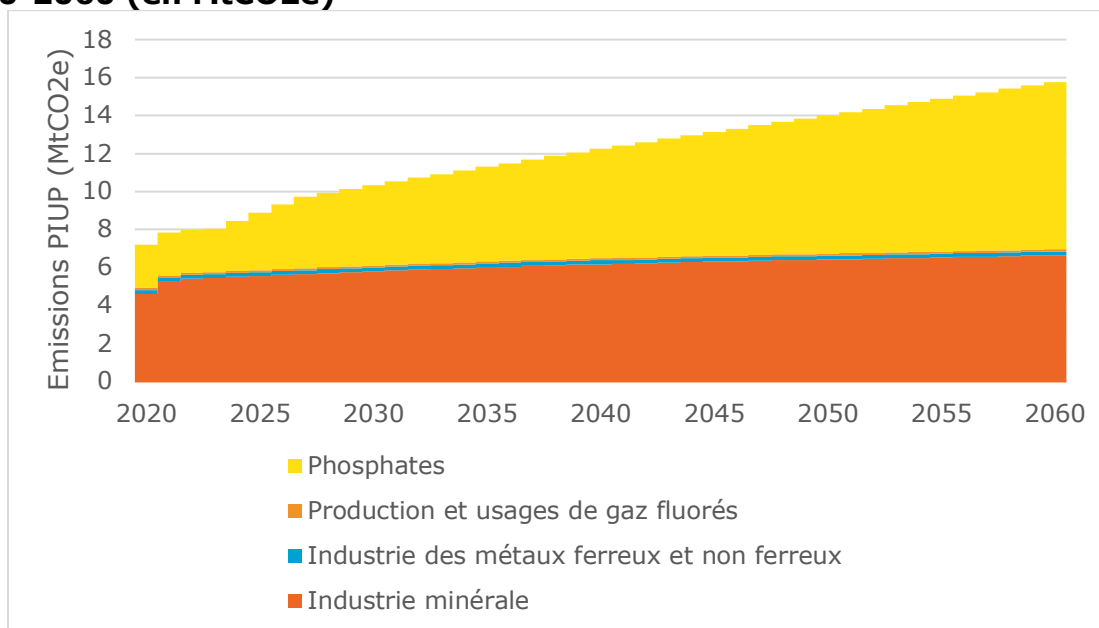


Émissions PIUP de l'industrie dans le scénario référence

Les émissions PIUP ou non-énergétiques de l'industrie proviennent de deux secteurs principaux : les phosphates et l'industrie minérale (ciment). Les projections liées à la production d'acide phosphorique font l'hypothèse d'une croissance jusqu'en 2030 et d'une production constante après cette date.

Les émissions non-énergétiques de l'industrie minérale devraient augmenter de 1,1% par an en moyenne d'ici à 2050. Les émissions du secteur du phosphate augmenteraient beaucoup plus rapidement (+4,0% par an) pour représenter plus de la moitié des émissions non-énergétiques en 2050.

Figure 14 Émissions PIUP du secteur de l'industrie dans le scénario référence 2020-2060 (en MtCO₂e)



Annexe 3 – Focus – Ciment

Annexe 3.1 Hypothèses et méthodologie de calcul du ciment

Dans le secteur du ciment, les émissions liées à l'utilisation de l'énergie peuvent être décomposées en deux processus clés : les émissions « énergétiques » et les émissions « non-énergétiques » (aussi appelées émissions de process). La catégorie « énergétique » regroupe l'électricité nécessaire pour faire fonctionner l'entraînement de la machine (ainsi que les besoins énergétiques auxiliaires) et les besoins en énergie thermique du four à ciment, qui augmentent tous deux avec la production de ciment. La catégorie « non-énergétique » concerne les gaz à effet de serre (CO₂) émis lors de la calcination du calcaire, nécessaire à la production de ciment (clinker).

Un modèle ascendant spécifique a été développé en étroite coordination avec les parties prenantes de l'Association professionnelle des cimentiers (APC).

Une analyse d'activité a été utilisée pour établir le lien entre la production historique de ciment par habitant (2001-2019) et la demande d'énergie (APC 2023 ; MHUPV ; MTEDD 2022). **Les prévisions démographiques ont ensuite été utilisées pour déterminer la demande nationale de ciment jusqu'en 2060.** Cela détermine un niveau d'activité économique du ciment se traduisant par une production annuelle de ciment de 17.6 Mt en 2060 (12.2 Mt en 2020).

Tableau 16 Hypothèses de volumes de production du ciment (Mt)

Million de tonnes de ciment produite	2020	2030	2040	2050	2060
Référence et Net-Zéro	12.2	15.4	16.4	17.0	17.6

Les données historiques sur l'intensité énergétique nationale de la production de ciment (2,77 GJ par tonne), dont 10 % sont de l'électricité et les 90 % restants sont utilisés pour produire de la chaleur, ainsi que le mélange d'énergie thermique, ont été récupérés auprès de l'APC (2023).

De plus, un processus de capture du carbone spécifique au ciment a été intégré pour permettre l'exploration de la capture future du carbone dans le secteur du ciment. Le module représente les besoins énergétiques d'une unité de capture du carbone adaptée à la capture du CO₂ liée à la combustion et à la calcination dans les usines de production de ciment. Son efficacité de capture est de 90 % et ses besoins énergétiques de 3,82 GJ par tonne de CO₂ sont répartis entre la chaleur (92 %) et l'électricité (8 %) (AIE 2018). Les coûts CAPEX et les coûts fixes O&M de la capture du carbone dans l'industrie cimentière marocaine ont été estimés sur la base des

coûts et des durées de vie publiés dans Markewitz et al. (2019). Le stockage du carbone a été supposé se produire à l'intérieur des frontières nationales au cours de l'horizon de modélisation ; par conséquent, le piégeage du carbone dans le secteur du ciment a été déduit du potentiel technique total de stockage du carbone au Maroc.

Les émissions de procédés non énergétiques dans le secteur du ciment résultent de la réaction de calcination lors de la production de clinker, un ingrédient clé du ciment. Les émissions de procédé ont été modélisées selon la méthode du GIEC, qui établit un lien entre la production de clinker et les émissions totales de procédé et indique un facteur d'émission de 0,52 tCO₂ par tonne de clinker consommée (GIEC 2006). La production de clinker a été estimée sur la base de la production de ciment et de la teneur en clinker. Dans le scénario de Référence, les émissions liées aux procédés ont ensuite été extrapolées jusqu'en 2060 en utilisant la projection du volume de production de ciment décrite ci-dessus et la teneur actuelle en clinker de 72% (MTEDD 2020). Dans le scénario Net Zéro, le ratio clinker/ciment a été réduit à 65% d'ici 2030 et les coûts de la réduction de la teneur en clinker ont été extraits de la CDN.

La **maturité** des technologies a été évaluée sur la base de la littérature et des discussions avec les experts et représentants sectoriels. Dans le cas du piégeage du carbone, il a été demandé aux experts de l'ACP de préciser la date de début et le taux de mise en œuvre qu'ils jugeaient réalisables compte tenu de la maturité actuelle des technologies. De même, dans le cas de l'utilisation de l'électricité comme co-combustible dans la production de chaleur pour la production de ciment, la mise en œuvre de cette technologie était basée sur un projet pilote¹⁶ et coordonnée avec l'ACP.

Annexe 3.2 Le sous-secteur du Ciment dans le scénario de Référence

Annexe 3.2.1 Consommation d'énergie du Ciment (Référence)

En 2020, le sous-secteur du Ciment représente une demande énergétique de 838 ktep, largement dominée par le coke de pétrole (618 ktep). La quasi-totalité (90%) de cette énergie est utilisée pour couvrir les besoins en énergie thermique des fours à ciment.

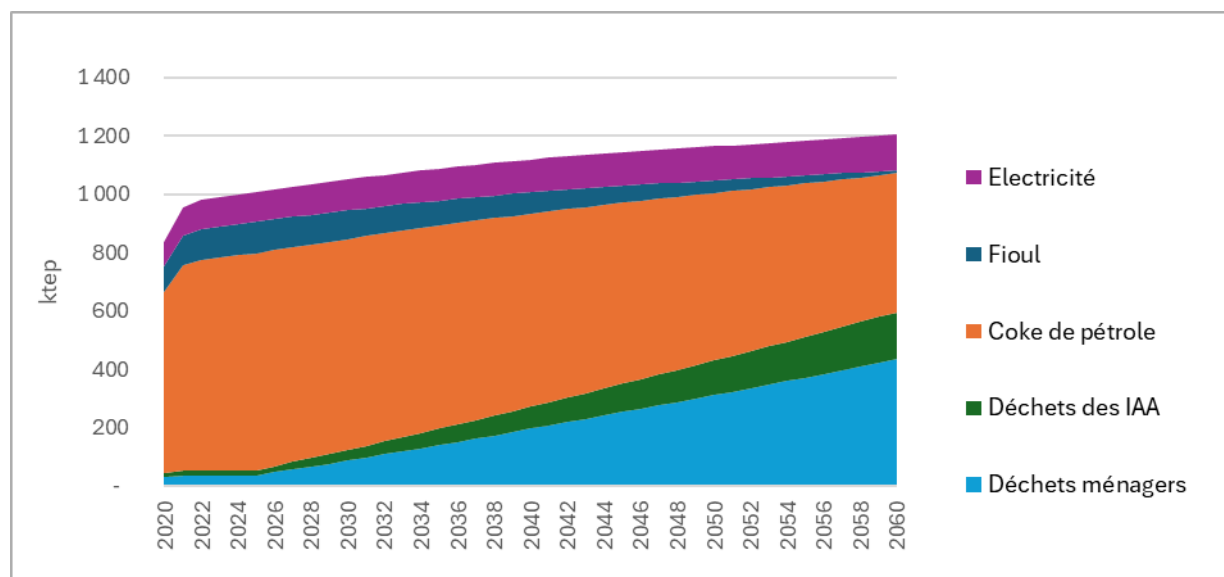
Dans le scénario de Référence, la consommation d'énergie augmente de 39% entre 2020 et 2050, et de 44% entre 2020 et 2060, pour atteindre 1204 ktep¹⁷. Comme on

¹⁶ Tokheim, L.-A., Mathisen, A., Øi, L. E., Jayarathna, C., Eldrup, N. H. and Gautestad, T. (n.d.). Combined calcination and CO₂ capture in cement clinker production by use of electrical energy. Trondheim CCS Conference – CO₂ Capture, Transport and Storage.

¹⁷ La consommation augmente déjà de 17% entre 2020 et 2022, du fait de la reprise post-COVID. Comparé à 2022, l'augmentation à 2050 est de +19%, et +23% pour 2060.

peut le voir figure 15, la répartition des sources -largement dominée par le coke de pétrole en 2020 (73%) évolue significativement. En particulier, on note l'utilisation croissante des déchets ménagers, qui représentent moins de 4% en 2020 et atteignent 27% en 2050 (36% en 2060), ainsi que des déchets des Industries Agro-Alimentaires (13% en 2060 contre moins de 2% en 2020). La part d'électricité reste quant à elle constante tout au long de la période de projection, autour de 10%.

Figure 15 Consommation d'énergie du sous-secteur du Ciment par source dans le scénario de Référence (ktep)



Annexe 3.2.2 Emissions du Ciment (Référence)

Dans le scénario de Référence, les émissions totales du sous-secteur augmentent sur la période de projection (figure 16). Elles atteignent 10.4 MtCO₂e en 2050 (+32% par rapport à 2020), et 10.5 MtCO₂e en 2060 (+34%)¹⁸. La majorité de ces émissions correspondent aux émissions non-énergétiques (PIUP), qui représentent 62% en 2050 (6.4 MtCO₂e) et 63% en 2060 (6.6 MtCO₂e).

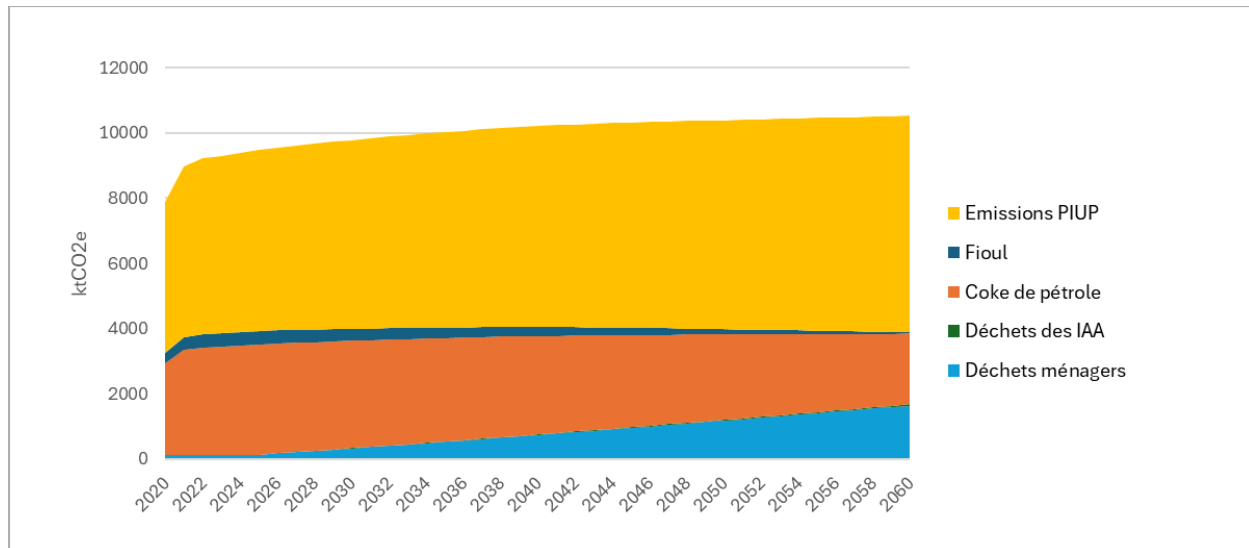
Les émissions énergétiques du sous-secteur du ciment continuent d'augmenter sur la première partie de la période de projection. Elles atteignent un maximum de 4044 ktCO₂e en 2039, soit une augmentation de 24% par rapport à 2020. Sur la fin de la période les émissions énergétiques commencent à décroître légèrement (-4% entre

¹⁸ Des émissions indirectes sont occasionnées par la production d'électricité, tel que décrit dans le plan sectoriel de l'énergie, mais ne sont pas comptabilisées dans le secteur industriel.

2039 et 2060), poussées par la disparition accélérée de l'utilisation du fioul après 2040. Elles atteignent 3981 ktCO₂e en 2050, puis 3889 ktCO₂e en 2060.

L'évolution de la répartition des sources mentionnée plus tôt est également reflétée dans les émissions du sous-secteur. On note en effet une part des émissions énergétiques due à l'utilisation du coke de pétrole qui passe de 86% en 2020 à 66% en 2050, puis 56% en 2060. A l'inverse, les émissions énergétiques dues aux déchets ménagers augmentent significativement, atteignant 1179 ktCO₂e en 2050 (30% des émissions énergétiques du sous-secteur), et 1643 ktCO₂e en 2060 (42%).

Figure 16 Émissions de GES du sous-secteur du Ciment par source dans le scénario Référence (milliers de tonnes de CO₂e)



Annexe 3.3 Le sous-secteur du Ciment dans le scénario Net-Zéro

Annexe 3.3.1 Consommation d'énergie du Ciment (Net Zéro)

Dans le scénario Net-Zéro, malgré une période de baisse entre 2024 et 2030, la consommation d'énergie du sous-secteur est globalement en augmentation sur la période (+14% entre 2020 et 2050, +18% entre 2020 et 2060). On atteint 952 ktep en 2050, 985 ktep en 2060.

On note tout d'abord une réduction conséquente de la demande énergétique par rapport au scénario de Référence (voir figure 17). Au total, une énergie cumulée de 6216 ktep n'est pas consommée sur la période de projection. Le rôle du ciment dans

la réduction de demande énergétique du secteur industriel est important, environ 20% en fin de période du potentiel de réduction total de l'industrie¹⁹.

Comme dans le scénario Référence, la part d'utilisation des déchets ménagers et issus des Industries Agro-Alimentaires prend de l'importance. Ils représentent respectivement 26% et 15% de la demande en 2050 (36% et 16% en 2060). Les déchets ménagers deviennent ainsi la première source d'énergie du sous-secteur en 2060.

Enfin, contrairement au scénario de Référence, dans le scénario Net-Zéro, la part d'électricité augmente fortement ; on atteint 207 ktep en 2050, soit 22% de la demande totale (29% en 2060, soit la deuxième source d'énergie).

Figure 17 Consommation d'énergie du sous-secteur du Ciment par source dans le scénario Net-Zéro (ktep), et comparaison par rapport au scénario de Référence

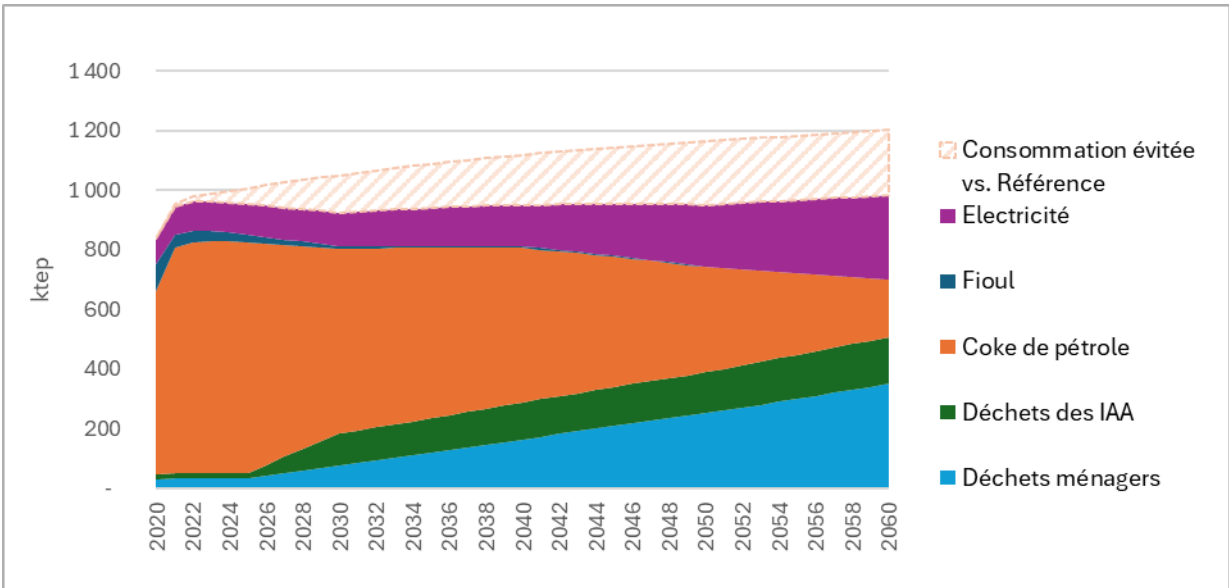


Tableau 17 Comparaison des consommations d'énergie du sous-secteur du Ciment par source dans les deux scénarios (ktep)

¹⁹ Cf tableau 7 : dans le secteur de l'industrie, 941 ktep sont évités en 2050 par rapport au scénario de référence, et 1278 ktep en 2060.

ktep	2020	2050		2060	
	REF/NZ	REF	NZ	REF	NZ
Electricité	84	117	207	121	284
Fioul	90	43	3	11	0
Coke de pétrole	30	311	251	433	350
Déchets des IAA	618	574	352	477	193
Déchets ménagers	15	118	138	162	158
Total	838	1164	212	104	220

Annexe 3.3.2 Emissions du Ciment (Net Zéro)

Dans le scénario Net-Zéro, on observe une chute des émissions du sous-secteur après 2022²⁰ ; en comptant la capture carbone, on atteint 5530 ktCO₂e en 2050 (-30% par rapport à 2020), et 4120 ktCO₂e en 2060 (-48% par rapport à 2020)²¹. En 2050, 47% des émissions sont évitées par rapport au scénario de Référence. Le total cumulé des émissions évitées atteint 127 MtCO₂e sur toute la période de projection.²²

Comme dans le scénario de Référence, les émissions non-énergétiques (PIUP) représentent une part importante : 58% en 2020, en augmentation jusqu'à environ 80% en fin de projection.

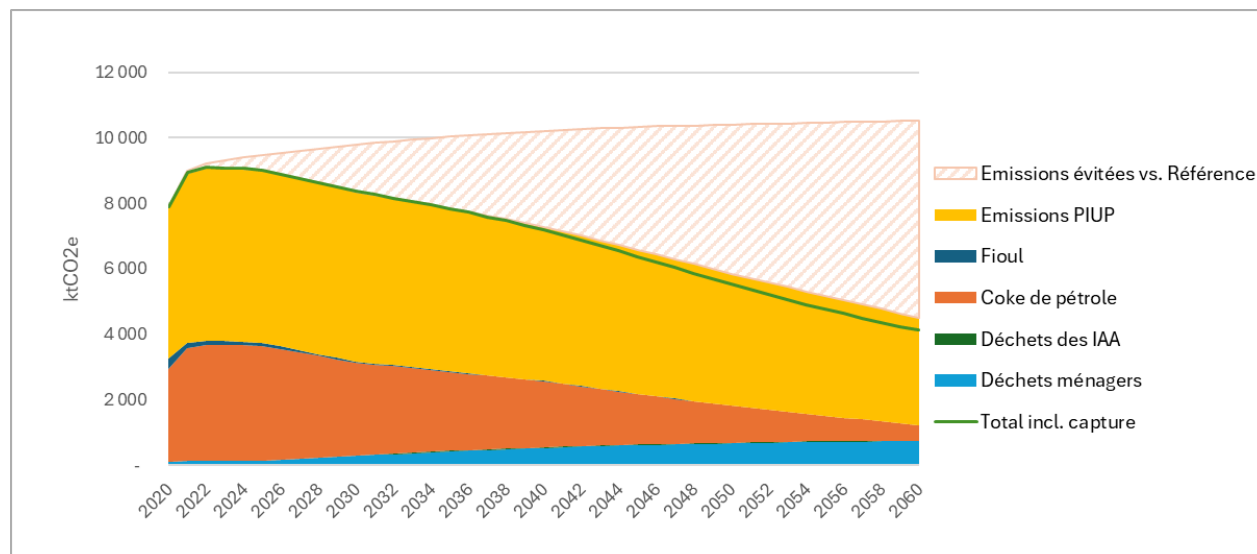
Les émissions énergétiques dans le Net Zéro représentent 1820 ktCO₂e en 2050 (-44% par rapport à 2020), et 1232 ktCO₂e en 2060 (-62% par rapport à 2020). Les émissions énergétiques dues à l'utilisation du coke de pétrole diminuent de 60% entre 2020 et 2050, et de 83% entre 2020 et 2060, expliquant largement la diminution des émissions totales du sous-secteur.

Figure 18 Émissions de GES du sous-secteur du Ciment par source dans le scénario Net-Zéro (milliers de tonnes de CO₂e), et comparaison par rapport au scénario de Référence

²⁰ Pic d'émissions du sous-secteur en 2022, de 9087 ktCO₂e.

²¹ Des émissions indirectes sont occasionnées par la production d'électricité, tel que décrit dans le plan sectoriel de l'énergie, mais ne sont pas comptabilisées dans le secteur industriel.

²² Les émissions évitées par chacune des mesures n'ont pas été quantifiées individuellement dans l'exercice de modélisation. En effet, l'exercice de calculs ascendants (bottom-up) inclut des relations entre secteurs qui rendent compliquées ces évaluations indépendantes (par exemple entre les secteurs de consommation finale (industrie) et le système électrique).



Alors que les indicateurs d'activité sont identiques pour les deux scénarios (passage d'une production annuelle de ciment de 12 Mt en 2020 à 17 Mt en fin de période), au vu des résultats présentés ici, les facteurs d'émission de la production de ciment sont donc bien différents dans les deux scénarios, comme on peut le voir dans le tableau 17.

Tableau 17 Indicateur des émissions de GES par tonne de ciment produite, comparaison des scénarios

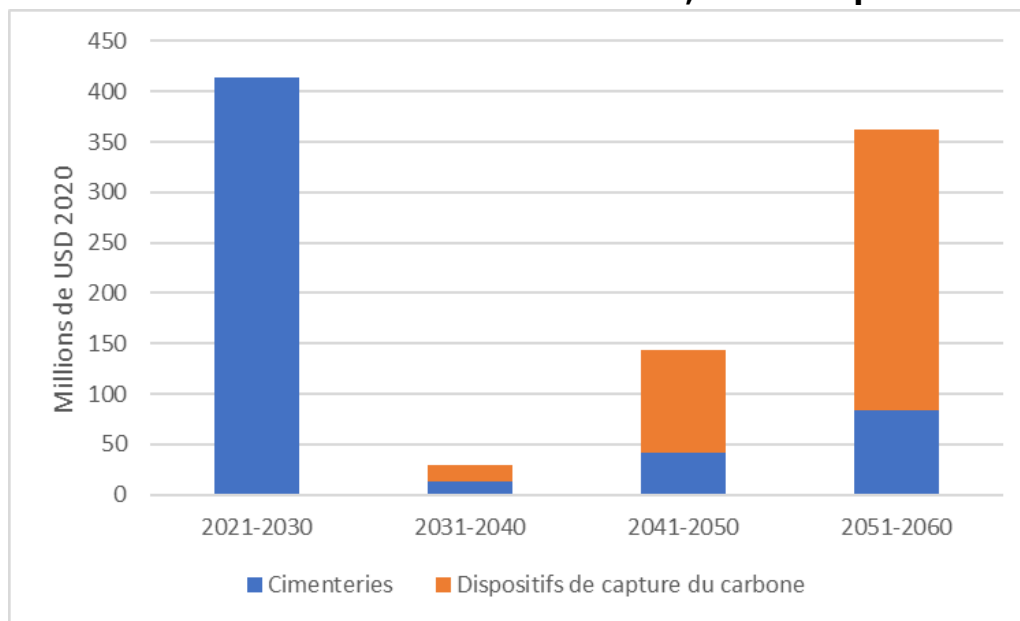
tCO ₂ e émise /t ciment produite	2020	2030	2040	2050	2060
Référence	0.64	0.64	0.62	0.61	0.60
Net Zéro	0.64	0.54	0.44	0.32	0.23
<i>réductions</i>	-0%	-15%	-29%	-47%	-61%

Annexe 3.3.3 Coûts d'investissement

Dans le scénario Net Zéro, et par rapport au scénario Référence, les cimenteries sont un poste important d'investissement sur la décennie 2021-2030, où leurs surcoûts cumulés représentent 414 million USD 2020.

A partir de 2031, les dispositifs de capture du carbone commencent à être mis en place dans le scénario Net-Zéro, engendrant aussi des coûts d'investissement croissants jusqu'à la décennie 2051-2060, pendant laquelle ils représentent 278 millions USD 2020 en cumulé.

Figure 19 - Coûts d'investissement des mesures, cumulés par décennie



Annexe 4 – Focus – Dessalement de l'eau de mer

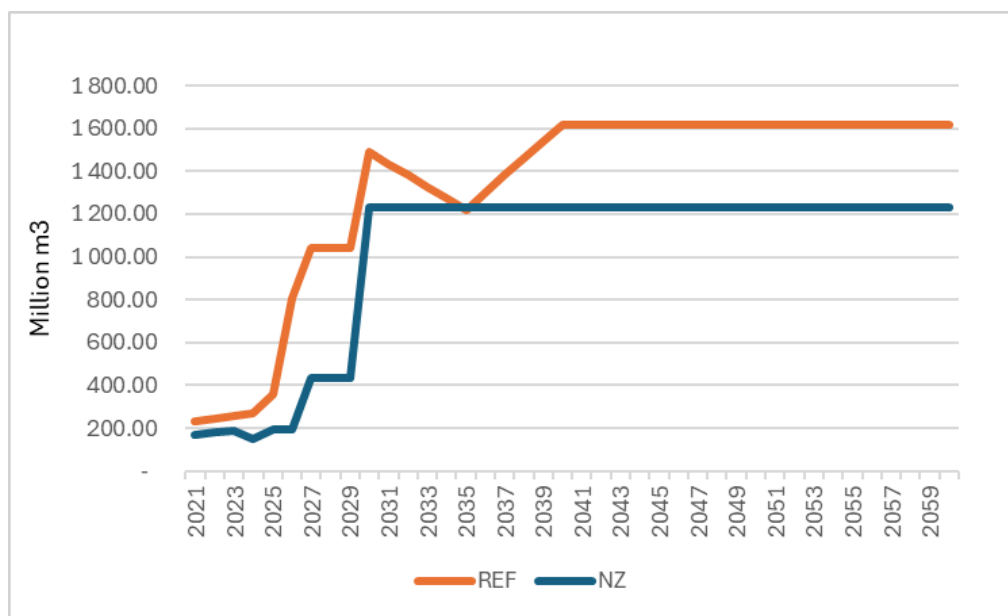
Annexe 4.1 Hypothèses et méthodologie de calcul

Le dessalement de l'eau de mer à des fins d'irrigation, d'eau potable et de demande d'eau industrielle devrait devenir un poste important de consommation d'énergie, la construction de plus de 14 nouvelles usines de dessalement étant en cours ou prévue d'ici 2050 (d'ici 2030 pour le scénario Net Zéro, parfois certaines sont ajoutées jusqu'en 2040 dans le scénario Référence). Ces nouvelles usines nécessiteront en moyenne 3,4 kWh d'électricité pour dessaler un m³ d'eau, et une capacité totale de dessalement de ~1300 millions de mètres cubes par an sera atteinte d'ici 2040 (MEE 2022), du moins pour le scénario Référence.

Méthode de modélisation :

Comme elle ne figure pas actuellement dans les bilans énergétiques ou les statistiques nationales, la future demande énergétique de ces usines a été représentée comme un sous-secteur indépendant de l'industrie. Les projections des volumes d'eau à dessaler ont été fournies par le ministère de l'Équipement et de l'Eau et utilisées pour projeter la demande d'énergie des nouvelles usines de dessalement jusqu'en 2060 (voir figure 20).

Figure 20 – Comparaison des volumes de dessalement futurs dans les scénarios Référence et Net-Zéro (millions de m²)



Par ailleurs, les coûts d'investissement des mesures relatives au dessalement de l'eau de mer n'ont pas été modélisés.

Annexe 4.2 Résultats de la modélisation

Annexe 4.2.1 Consommation d'énergie du Dessalement de l'eau de mer

Comme on peut le voir dans le tableau 18, dans le scénario de Référence, la consommation d'énergie dédiée au dessalement de l'eau de mer augmente jusqu'à 2040, date à laquelle une capacité totale de dessalement de 1300 millions de mètres cubes par an mentionnée plus haut est atteinte, pour une consommation annuelle de 473 ktep (soit 5.5 TWh d'électricité). Dans le scénario Net Zéro, la capacité de dessalement maximale est atteinte en 2030, pour une consommation annuelle de 362 ktep (soit 4.2 TWh d'électricité) qui reste constante jusqu'à la fin de la période, soit une réduction de 24% par rapport au scénario de Référence.

Tableau 18 Consommation d'énergie du dessalement de l'eau de mer (ktep), comparaison des scénarios

ktep	2020	2030	2040	2050	2060
Référence	-	435	473	473	473
Net zéro	-	362	362	362	362
<i>réduction</i>	<i>0%</i>	<i>-17%</i>	<i>-23%</i>	<i>-23%</i>	<i>-23%</i>

La totalité de l'énergie utilisée pour le dessalement étant de l'électricité, aucune émission directe n'est à comptabiliser. Des émissions indirectes sont occasionnées par la production d'électricité, tel que décrit dans le plan sectoriel de l'énergie, mais ne sont pas comptabilisées dans le secteur industriel.

Annexe 5 – Focus – Phosphates

Détenant 75 % des réserves mondiales en phosphate, le Maroc prévoit de réduire les émissions liées à sa transformation. Les mesures mises en place dans les scénarios présentés ici s'appuient sur diverses stratégies et plans nationaux structurants, comme la stratégie nationale de l'énergie visant à réduire la consommation d'énergie de 20 % par rapport à un scénario de Référence en 2030 et à atteindre une part de 52 % d'énergies renouvelables dans la capacité électrique installée d'ici 2030.

Annexe 5.1 Hypothèses et méthodologie de calcul des phosphates

Comme pour le ciment, un modèle ascendant spécifique a été développé en étroite coordination avec les parties prenantes du groupe OCP. Ce modèle reflète la forte association entre le volume de production et la demande d'énergie, ainsi que les processus de production particuliers, les besoins et les scénarios futurs probables dans ces secteurs.

La **production** historique de phosphate et d'acide phosphorique a été extraite des données recueillies pour la CDN (MTEDD 2020) et extrapolées jusqu'en 2027 sur la base des objectifs de capacité de production d'engrais phosphatés et d'acide phosphorique décrits dans le plan d'investissement de l'OCP (2023) et des tendances historiques des volumes de production pour la projection jusqu'en 2060.

Le **bilan énergétique** de l'extraction et de l'exploitation minière a été calculé sur la base des bilans énergétiques historiques globaux du groupe OCP pour la période 2017-2022 (OCP 2023) et de la répartition historique de la consommation de fioul entre ces deux branches d'activité (Lee, Assi, et al. 2023). La part de la consommation d'électricité dans l'exploitation minière et la fabrication est supposée être respectivement de 22 % et 78 % et la consommation de fioul de 67 % et 33 %.

Les **émissions liées à l'utilisation de l'énergie** dans l'extraction du phosphate et la production d'acide phosphorique ont été modélisées pour la période 2018-2060 à l'aide d'une analyse d'activité liant les volumes de production de phosphate et d'acide phosphorique à la consommation historique de combustibles.

Les **émissions non liées à l'énergie** dans le secteur des phosphates ont été basées sur les données historiques d'émissions provenant de la fabrication d'acide phosphorique et d'autres procédés dans la production de phosphate (2019-2021), puis extrapolées jusqu'en 2060 en utilisant la même approche que celle décrite pour les émissions liées à l'énergie (OCP 2023). Les coûts des mesures d'atténuation ont été extraits de la CDN actualisée et du programme d'investissement de l'OCP et

modélisés en tant que coût d'investissement total (Gouvernement du Maroc 2021 ; OCP 2023).

L'autoproduction d'électricité du groupe OCP a été représentée séparément de l'extraction et du secteur chimique, car l'autoproduction n'est pas incluse dans les bilans énergétiques (OCP 2023).

Annexe 5.2 Le sous-secteur des Phosphates dans le scénario de référence

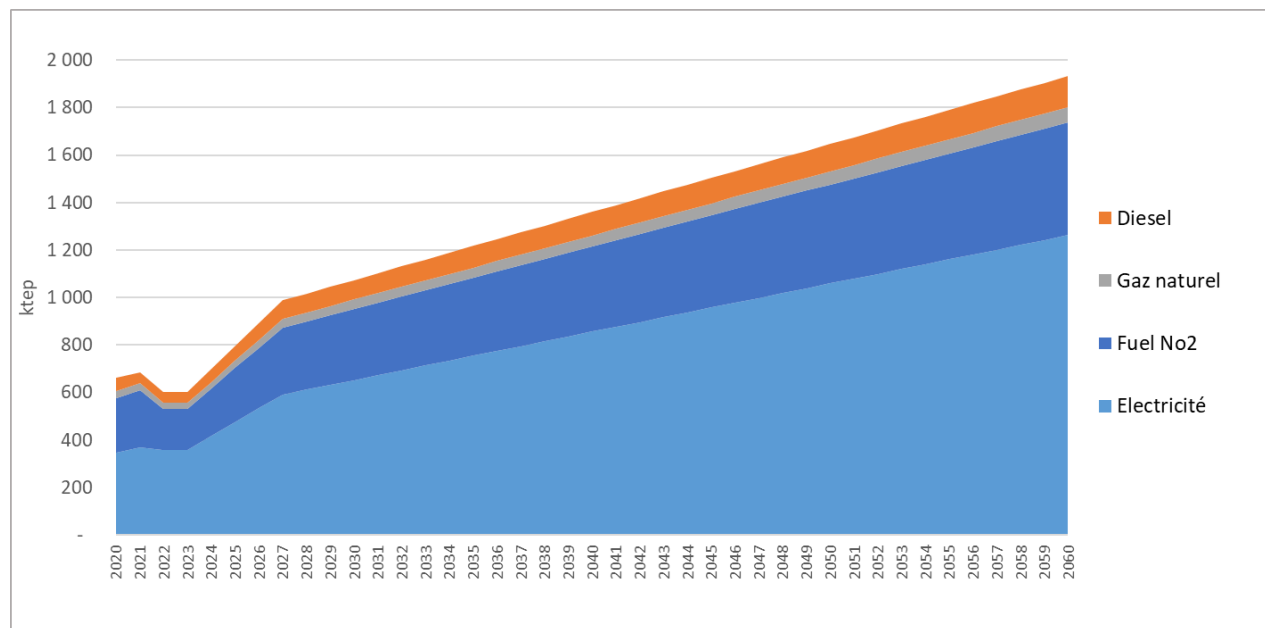
Annexe 5.2.1 Consommation d'énergie des Phosphates (Référence)

En 2020, le sous-secteur des Phosphates représente une demande énergétique totale de 662 ktep. L'électricité et le fuel n°2 permettent à eux deux de couvrir presque 90% de la demande (respectivement 52% et 35%). 55% de la demande est utilisée pour la fabrication d'acide phosphorique, le reste étant utilisé pour l'extraction de la roche phosphatée (45%).

Dans le scénario de Référence, la consommation d'énergie augmente fortement sur la période de projection. On note une multiplication par 2.5 entre 2020 et 2050 et presque 3 entre 2020 et 2060, pour atteindre 1933 ktep.

Comme on le voit figure 21, la répartition des sources reste assez similaire le long de la période de projection, avec une légère augmentation de la part de l'électricité, atteignant environ 65% en fin de projection.

Figure 21 Consommation d'énergie du sous-secteur des Phosphates par source dans le scénario de Référence (ktep)



Annexe 5.2.2 Emissions des Phosphates (Référence)

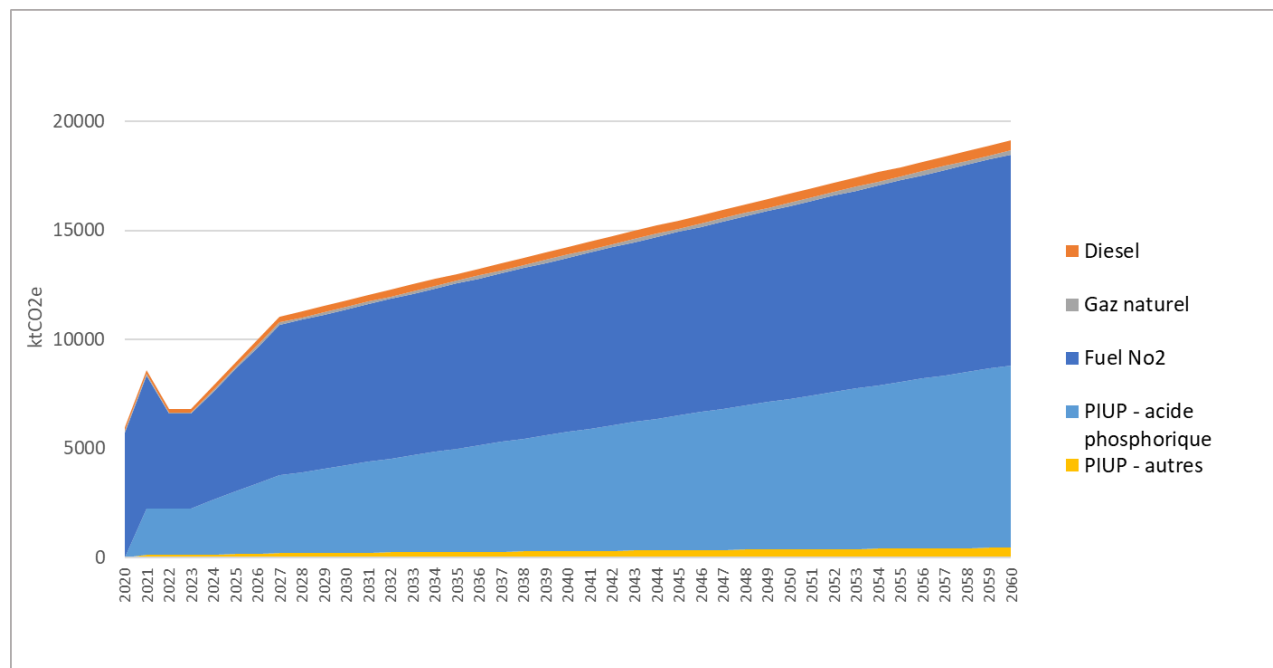
Dans le scénario de Référence, les émissions du sous-secteur des Phosphates augmentent fortement sur toute la période de projection (voir figure 20). Autour de 6 MtCO₂e en 2020, elles atteignent 16.7 MtCO₂e en 2050 (+178%), puis 19.1 MtCO₂e en 2060 (+219%)²³.

Les émissions énergétiques représentent 74% des émissions totales du sous-secteur en 2021, part qui diminue à environ 55% en fin de période de projection. Ces émissions-là sont dues à l'utilisation du fuel n°2, comme on peut le voir figure 22.

Enfin, les émissions non-énergétiques (PIUP) représentent environ 45% des émissions totales du sous-secteur en fin de période de projection. La quasi-totalité de ces émissions sont dues à l'acide phosphorique.

Figure 22 Émissions de GES du sous-secteur des Phosphates par source dans le scénario Référence (milliers de tonnes de CO₂e)

²³ Des émissions indirectes sont occasionnées par la production d'électricité, tel que décrit dans le plan sectoriel de l'énergie, mais ne sont pas comptabilisées dans le secteur industriel.



Annexe 5.3 Le sous-secteur des Phosphates dans le scénario Net-Zéro

Annexe 5.3.1 Consommation d'énergie des Phosphates (Net Zéro)

Comme dans le scénario de référence, dans le scénario Net-Zéro, la consommation d'énergie du sous-secteur est en augmentation sur la période de projection, mais à des rythmes 4 à 6 fois plus élevés (+40% entre 2020 et 2050, +77% entre 2020 et 2060). On atteint 927 ktep en 2050, 1175 ktep en 2060.

Comme on peut le voir figure 23, on note des écarts conséquents avec la demande énergétique du scénario de Référence. Les mesures mises en place dans le scénario Net-Zéro permettent de diminuer la demande énergétique d'environ 40% en fin de période (720 ktep évités en 2050, 758 ktep en 2060).

Une différence notable avec le scénario de Référence est le développement de 1 200 MW de capacités PV par OCP dès 2026, permettant une diminution de la demande de 209 ktep par an entre 2026 et 2060.

On note par ailleurs la disparition totale de la demande en fuel n°2 dès 2030, ce qui constitue aussi une différence majeure avec le scénario de référence, dans lequel le fuel n°2 couvre encore 25% de la demande en 2060. La part de la demande en électricité est quant à elle plus élevée (75% en fin de période de projection).

Figure 23 Consommation d'énergie du sous-secteur des Phosphates par source dans le scénario Net-Zéro (ktep), et comparaison par rapport au scénario de Référence

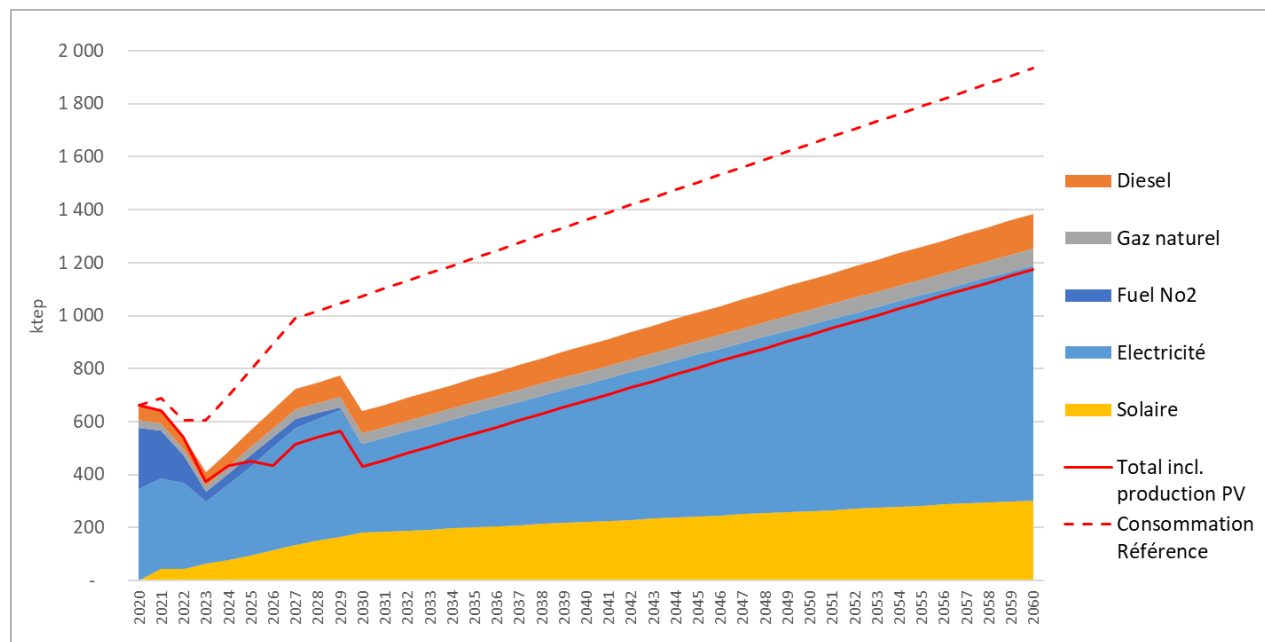


Tableau 19 Comparaison des consommations par source (ktep)

ktep	2020	2050		2060	
	REF/NZ	REF	NZ	REF	NZ
Diesel	57	115	115	131	131
Electricité	346	1060	703	1263	886
Fuel n°2	230	417	0	476	0
Gaz naturel	29	56	56	63	63
Solaire	0	0	262	0	303
Production PV OCP	0	0	-209	0	-209
Total	662	1647	927	1933	1175

Annexe 5.3.2 Emissions des Phosphates (Net Zéro)

Dans le scénario Net-Zéro, on observe une globale diminution des émissions jusqu'à 2040, date après laquelle elles se mettent à augmenter de nouveau, poussées par l'augmentation des émissions PIUP liées à l'acide phosphorique (voir figure 24). Le niveau d'émission total du sous-secteur atteint 4252 ktCO₂e en 2050, 5088 ktCO₂

en 2060²⁴. La disparition de la demande en fuel n°2 est reflétée dans les émissions due à cette source, qui chutent jusqu'à disparaître en 2030.

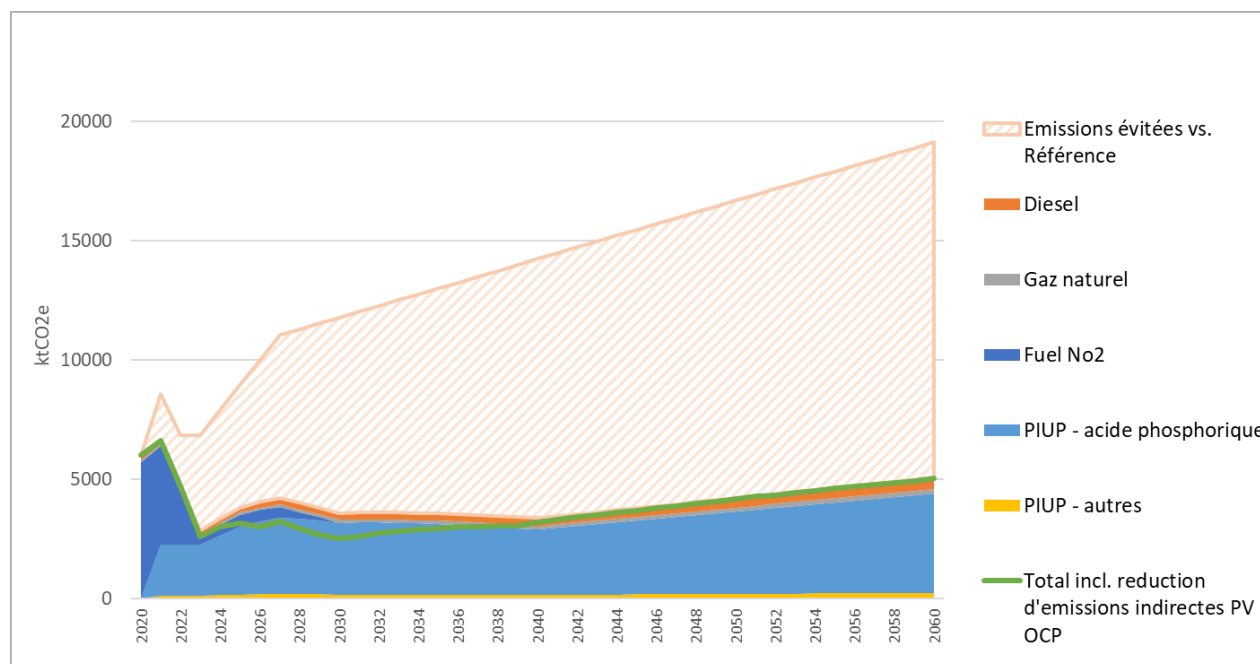
Enfin, la mise en place des mesures du scénario Net-Zéro permettent d'éviter l'émission de plus de 400 MtCO₂e sur la période de projection. En 2050, on chiffre cet évitement annuel à 12.4 MtCO₂e, puis 14 MtCO₂e en 2060²⁵.

A noter que le développement de capacités photovoltaïques par l'OCP permet d'éviter une partie des émissions indirectes (liées à la production d'électricité qui est ainsi remplacée), en particulier en début de scénario (après 2040, l'électricité remplacée étant elle-même très majoritairement décarbonée, les gains d'émissions deviennent marginaux).

²⁴ Des émissions indirectes sont occasionnées par la production d'électricité, tel que décrit dans le plan sectoriel de l'énergie, mais ne sont pas comptabilisées dans le secteur industriel.

²⁵ Les émissions évitées par chacune des mesures n'ont pas été quantifiées individuellement dans l'exercice de modélisation. En effet, l'exercice de calculs ascendants (bottom-up) inclut des relations entre secteurs qui rendent compliquées ces évaluations indépendantes (par exemple entre les secteurs de consommation finale (industrie) et le système électrique).

Figure 24 Émissions de GES du sous-secteur des Phosphates par source dans le scénario Net-Zéro (milliers de tonnes de CO₂e), et comparaison par rapport au scénario de Référence



Comme pour le Ciment, les indicateurs d'activité du Phosphate sont identiques pour les deux scénarios. Etant donné les différences observées en termes d'émission, on a donc des facteurs d'émission de la production qui diffèrent dans les deux scénarios.

Annexe 5.3.3 Coûts d'investissement

La seule branche du sous-secteur pour laquelle les coûts ont été modélisés est la production PV de OCP. Celle-ci correspond à un surcoût dans le scénario Net-Zéro par rapport au Référence de 1.15 milliard USD en cumulé sur 2023-2026. Les autres branches (extraction...) n'ont pas été développées.