Projection à 2050 de la consommation électrique de l'industrie manufacturière française

Rapport YGGDRASILL pour l'UNIDEN, mars 2021

I. Contexte

Le présent rapport a pour objectif de quantifier une projection à 2050 de la consommation électrique de l'industrie manufacturière française dans un contexte de réindustrialisation. De nombreux modèles d'évolution de la consommation énergétique de l'industrie circulent, mais ils retiennent, pour l'essentiel, un prolongement de la tendance à la désindustralisation observée depuis plusieurs décennies. Cette tendance ayant engendré une hausse significative de l'empreinte carbone de la France par le recours massif à des importations au contenu carbone sensiblement plus élevé[1], Le présent scénario s'inscrit, sur la base d'une analyse étayée, à contre-courant de ces tendances.

Il permet également, de quantifier, pour les secteurs ndustriels intensifs en énergie les besoins en électricité à cet horizon , dans une optique de lutte contre le changement climatique, qui doivent nécessairement intègrer une part plus ou moins élevée d'électrification des procédés. A ce titre, il apparait clairement que l'hydrogène est amené à avoir un rôle majeur dans l'industrie, que ce soit directement comme intrant de nouveaux procédés industriels bas carbone, ou comme vecteur énergétique et de de stockage.

Le périmètre retenu est celui de l'« industrie manufacturière », à savoir les secteurs industriels hors production d'énergie. Le secteur du raffinage est néanmoins intégré dans la consommation totale d'électricité et d'hydrogène à 2050 mais n'est pour autant pas projeté dans les autres indicateurs.

II. Consommation électrique de l'industrie à 2050

a. Consommation finale

Le scénario de réindustrialisation retenu cherche, à travers deux variantes, à évaluer la fourchette de la consommation électrique de l'industrie manufacturière française à 2050 :

Consommation électrique de l'industrie manufacturière française en 2018 – source INSEE (incluant le raffinage)	118 TWh
Projection de la consommation électrique de l'industrie manufacturière française en 2050 dans un scénario de réindustrialisation, avec électrification limitée des procédés – variante « RI-L »	187 TWh (+ 59%)
Projection de la consommation électrique de l'industrie manufacturière française en 2050 dans un scénario de réindustrialisation, avec électrification forte des procédés – variante « RI-H »	452 TWh (+ 283%)

[1] Cf. notamment « « *Le redéploiement industriel, instrument de maîtrise de l'empreinte carbone de la France* » - Deloitte pour UNIDEN et al., Paris, janvier 2021.

Hypothèses RTE / SNBC à 2050 : **électrification moyenne et croissance modérée de la production** (hors raffinage)	180 TWh (+ 57%)

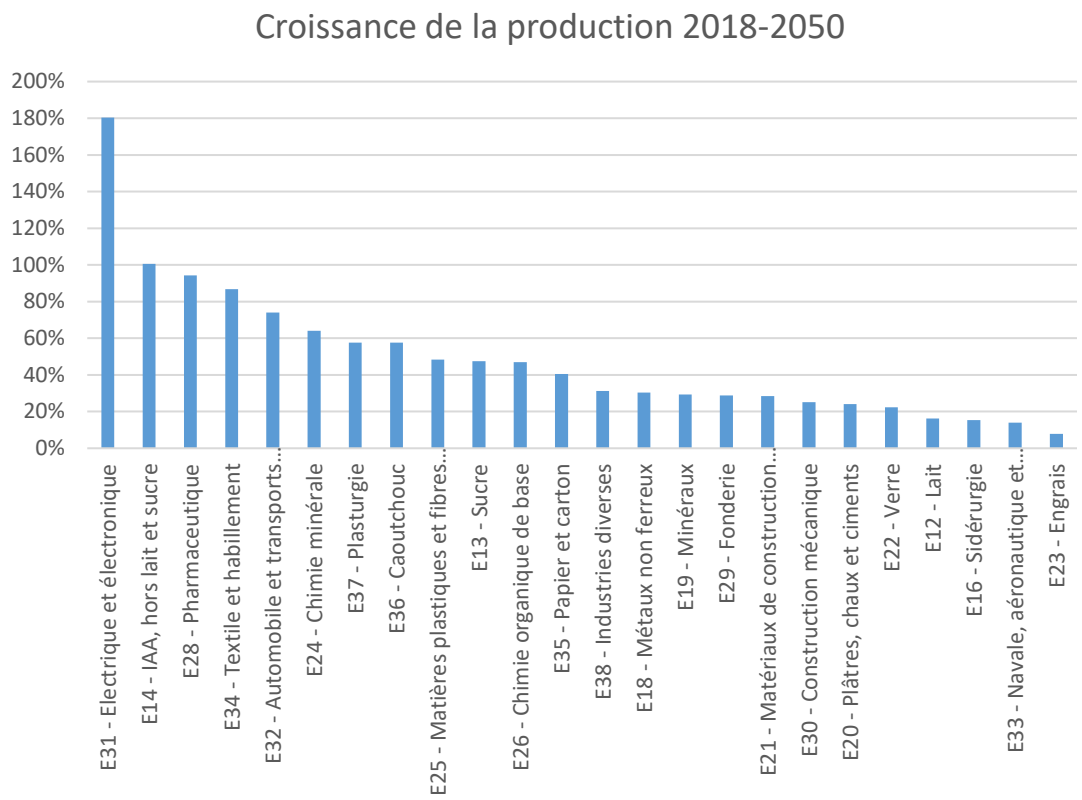
b. Croissance

L'hypothèse macro-économique de base retenue consiste à passer d'une balance commerciale négative de 46 Mds € en 2018 à une balance excédentaire de 69 Mds € en 2050 pour le périmètre considéré (données Eurostat) :

Secteur	Croissance 2018-2050	Croissance annuelle correspondante
E31 - Electrique et électronique	180%	3,3%
E14 - IAA, hors lait et sucre	101%	2,2%
E28 – Pharmaceutique	94%	2,1%
E34 - Textile et habillement	87%	2,0%
E32 - Automobile et transports terrestres	74%	1,7%
E24 - Chimie minérale	64%	1,6%
Moyenne industrie manufacturière	**62%**	**1,5%**
E37 – Plasturgie	58%	1,4%
E36 – Caoutchouc	58%	1,4%
E25 - Matières plastiques et fibres art.	48%	1,2%
E13 – Sucre	47%	1,2%
E26 - Chimie organique de base	47%	1,2%
E35 - Papier et carton	41%	1,1%
E38 - Industries diverses	31%	0,9%
E18 - Métaux non ferreux	30%	0,8%
E19 – Minéraux	29%	0,8%
E29 – Fonderie	29%	0,8%
E21 - Matériaux de construction et céramique	29%	0,8%
E30 - Construction mécanique	25%	0,7%
E20 - Plâtres, chaux et ciments	24%	0,7%
E22 – Verre	22%	0,6%
E12 – Lait	16%	0,5%
E16 – Sidérurgie	15%	0,4%
E33 - Navale, aéronautique et armement	14%	0,4%
E23 – Engrais	8%	0,2%

À noter : ces hypothèses de croissance de la production permettent un maintien de la part de l'industrie dans le PIB de la France (~10%), sans augmentation de cette proportion, compte-tenu de l'hypothèse d'augmentation du PIB de 1,5% par an en moyenne retenue dans le cadrage RTE / SNBC. Toutefois, pour chercher à satisfaire à l'hypothèse de réindustrialisation retenue par RTE / SNBC - soit une part dans le PIB revenant à 16% - dans le cadre du scenario de réindustrialisation, il serait possible d'augmenter sensiblement le taux de croissance des principaux secteurs à haute valeur ajoutée (aéronautique, électronique, IAA, pharmacie…) mais qui pour autant ne sont pas intensifs en énergie.

On atteindrait ainsi 13% du PIB (et 475 TWh) avec un tel jeu d'hypothèses. Mais ce n'est pas le scénario retenu dans le cadre de la présente étude.

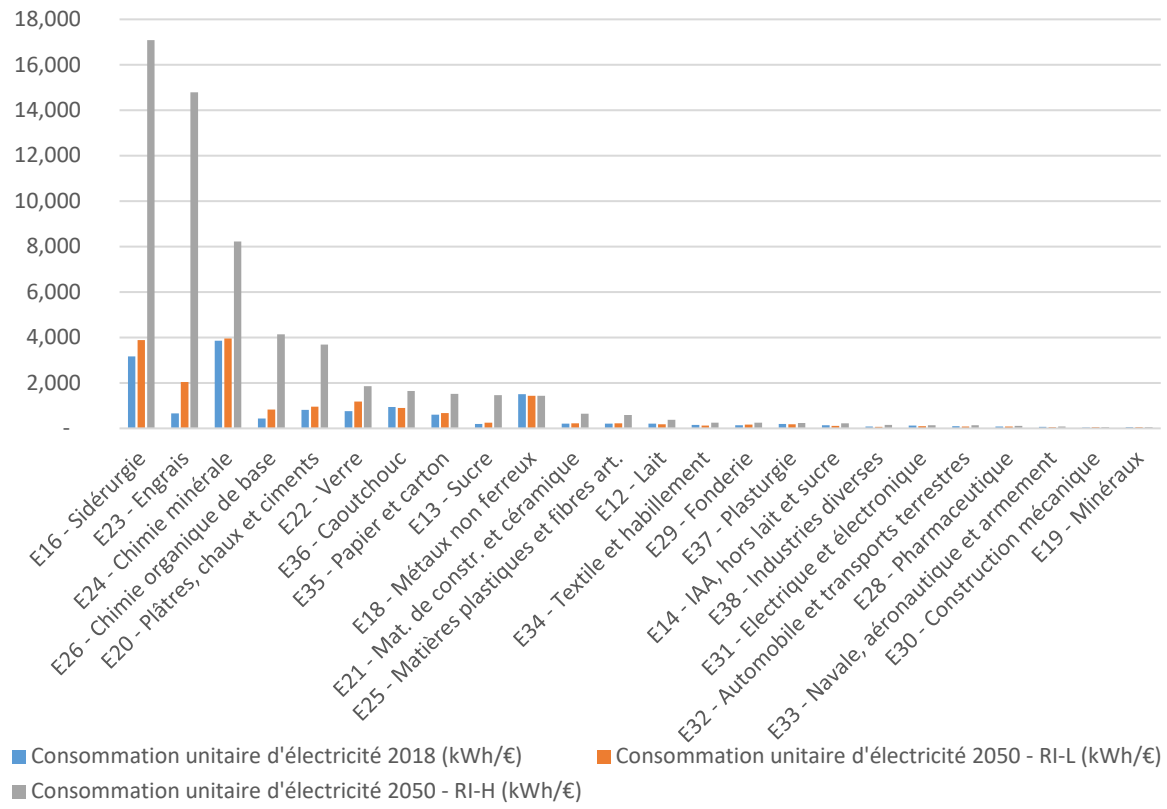


c. Scénarios d'électrification des procédés

Les secteurs industriels ont des capacités d'électrification différenciées. De base, on considère qu'une partie des consommations de chaleur (de 5 à 20%) pourra être couverte par des technologies de type pompe à chaleur. L'électrification accrue des chaudières et fours à haute température nécessitera en revanche le recours à des technologies de rupture et un coût d'accès à l'électricité très attractif.
Dans certains secteurs, comme la sidérurgie et les engrais, une augmentation très significative de la consommation électrique est à attendre en raison du recours massif, avec ces technologies de rupture, à de l'hydrogène base électrique.

	Consommation unitaire d'électricité 2018 (kWh/€)	Consommation unitaire d'électricité 2050 – RI-L (kWh/€)	Consommation unitaire d'électricité 2050 – RI-H (kWh/€)
E16 - Sidérurgie	3,168	3,890	17,091
E23 - Engrais	0,654	2,038	14,785
E24 - Chimie minérale	3,862	3,954	8,231
E26 - Chimie organique de base	0,429	0,822	4,137
E20 - Plâtres, chaux et ciments	0,807	0,949	3,690
E22 - Verre	0,760	1,185	1,861
E36 - Caoutchouc	0,946	0,902	1,650

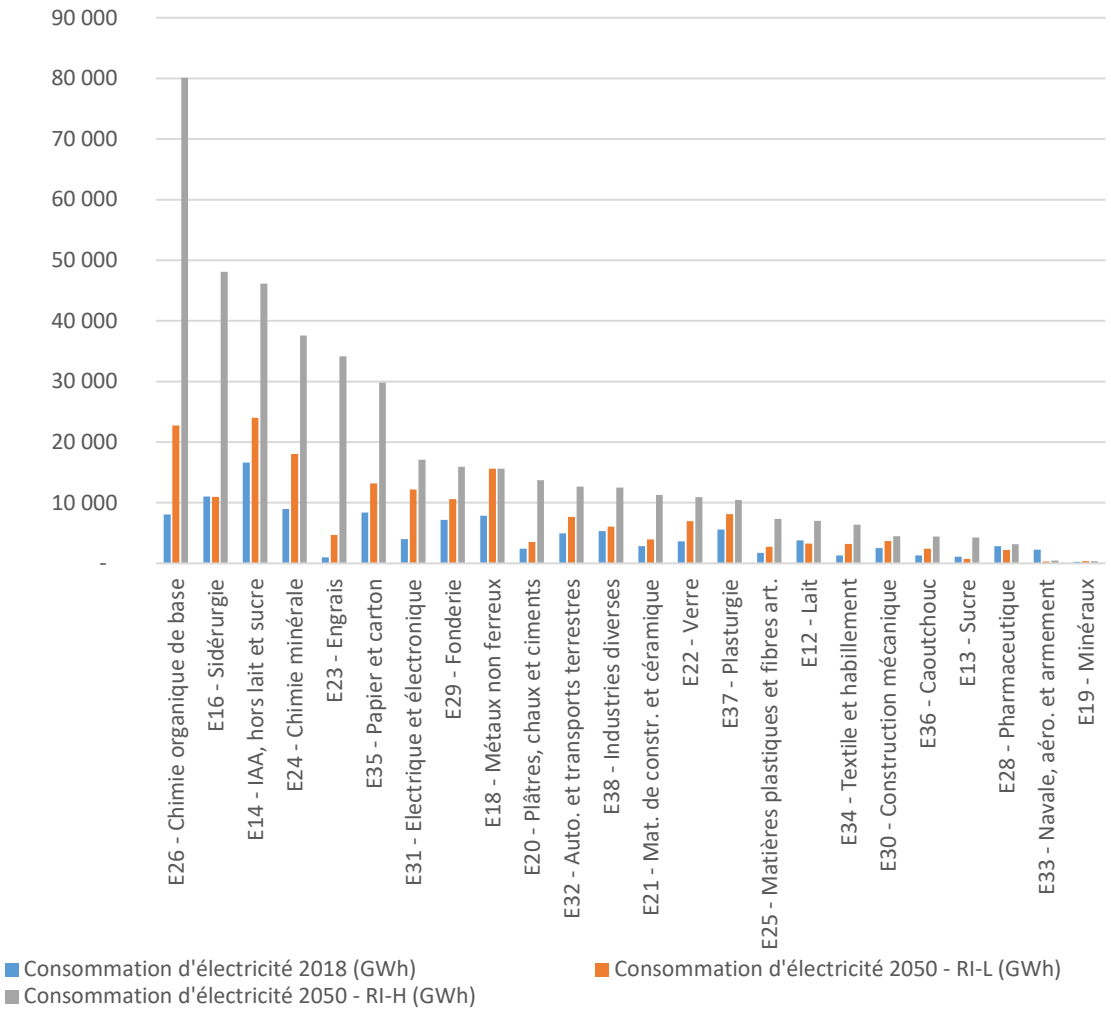
E35 - Papier et carton	0,597	0,670	1,513
E13 - Sucre	0,193	0,255	1,464
E18 - Métaux non ferreux	1,503	1,428	1,428
E21 - Mat. de constr. et céramique	0,210	0,227	0,648
E25 - Matières plastiques et fibres art.	0,205	0,220	0,595
E12 - Lait	0,203	0,176	0,381
E34 - Textile et habillement	0,148	0,127	0,252
E29 - Fonderie	0,145	0,165	0,249
E37 - Plasturgie	0,196	0,180	0,232
E14 - IAA, hors lait et sucre	0,144	0,115	0,221
E38 - Industries diverses	0,083	0,072	0,149
E31 - Electrique et électronique	0,117	0,102	0,143
E32 - Automobile et transports terrestres	0,091	0,081	0,134
E28 - Pharmaceutique	0,078	0,078	0,111
E33 - Navale, aéronautique et armement	0,068	0,060	0,087
E30 - Construction mécanique	0,040	0,047	0,058
E19 - Minéraux	0,049	0,046	0,046



Si on rapproche l'intensité électrique de ces secteurs de l'augmentation attendue de la production aux fins de réindustrialisation, l'on constate un boom de la consommation électrique de certaines industries : la chimie organique de base, la sidérurgie, les IAA (secteur en forte croissance), et d'autres sous-secteurs de la chimie et du papier / carton.

	Consommation d'électricité 2018 (GWh)	Consommation d'électricité 2050 – RI-L (GWh)	Consommation d'électricité 2050 – RI-H (GWh)
E26 - Chimie organique de base	8 071	22 748	114 524
E16 - Sidérurgie	11 049	10 952	48 123
E14 - IAA, hors lait et sucre	16 643	24 009	46 163
E24 - Chimie minérale	8 955	18 051	37 578
E23 - Engrais	1 012	4 709	34 170
E35 - Papier et carton	8 374	13 206	29 844
E31 - Electrique et électronique	3 989	12 212	17 099
E29 - Fonderie	7 199	10 591	15 922
E18 - Métaux non ferreux	7 874	15 596	15 596
E20 - Plâtres, chaux et ciments	2 419	3 529	13 713
E32 - Auto. et transports terrestres	4 943	7 645	12 650

E38 - Industries diverses	5 338	6 041	12 529
E21 - Mat. de constr. et céramique	2 849	3 968	11 315
E22 - Verre	3 640	6 945	10 913
E37 - Plasturgie	5 606	8 112	10 464
E25 - Matières plastiques et fibres art.	1 710	2 717	7 349
E12 - Lait	3 791	3 248	7 025
E34 - Textile et habillement	1 337	3 211	6 399
E30 - Construction mécanique	2 500	3 667	4 474
E36 - Caoutchouc	1 291	2 422	4 432
E13 - Sucre	1 093	743	4 276
E28 - Pharmaceutique	2 861	2 212	3 175
E33 - Navale, aéro. et armement	2 256	316	460
E19 - Minéraux	233	343	343



d. Flexibilité de la demande

En fonction des secteurs, les capacités d'effacement sont estimées entre 6 % et 15 % de la consommation énergétique. Il s'agit, actuellement, essentiellement d'arrêts ponctuels et de courte durée des installations et non d'une véritable modulation de la production. À l'avenir, l'augmentation importante du nombre de secteurs électro-intensifs du fait de l'électrification croissante des usages et des procédés, va conduire à repenser de façon plus large les modalités de la flexibilité.

e. Hydrogène

La consommation d'hydrogène associée à l'électrification des procédés est estimée de 6% à 22% de la chaleur (dans la variante d'électrification limitée « RI-L ») en fonction du secteur (*source : McKinsey & Hydrogen Council, 2017*) : si les procédés du secteur sont exigeants sur leurs besoins en chaleur (haute température par exemple, en considérant donc les secteurs réputés gazo-intensifs), ils seront plus susceptibles de recourir à l'hydrogène pour leur électrification.

Secteur	Besoins en hydrogène (RI-H) (kt H2)
Hypothèse 6% d'hydrogène en chaleur procédé	
E12 – Lait	9
E13 – Sucre	8
E14 – IAA	51
E20 – Plâtre/Ciment	23
E21 – Céramique et ass.	62
E28 – Pharmacie	2
E30 – Construction mec.	2
E31 – Electr. & électron.	11
E32 – Auto & trans. terr.	12
E33 – Nav. Aéro. Arm.	0
E34 – Textile & Hab.	7
E36 – Caoutchouc	5
E37 – Plasturgie	5
E38 – Divers	15
Hypothèse 22% d'hydrogène en chaleur procédé	
E24 – Chimie minérale	165
E25 – Plastique et ass.	39
E26 – Chimie organique	688
E29 – Fonderie	47
E22 – Verre	71
Hypothèses spécifiques	
E16 – Sidérurgie	839
E23 – Engrais	250
E35 – Papier / Carton	64
Raffinage	45
TOTAL industrie manufacturière (raffinage inclus)	**2 421** *Équivalent consommation électrique : 120 TWh*

Au total, 120 TWh seraient ainsi nécessaires à la production de 2,4 millions de tonnes d'hydrogène pour les besoins d'électrification des procédés industriels. Le solde des besoins d'électrification (environ 250 TWh) sera couvert par des pompes à chaleur haute température et des fours et chaudières électriques.

f. Electro-intensivité de l'industrie

Afin d'évaluer le besoin de compétitivité de l'électricité qui sera consommée par les secteurs industriels considérés, la migration du statut de consommateur « ordinaire » vers celui d'électro-intensif (EI) ou d'hyper-électro-intensif (HEI) de ces mêmes secteurs industriels en fonction des variantes a été étudiée dans le détail.

Les secteurs évoluent en fonction de leur degré d'électrification à 2050. On considère, pour la cohérence avec les données Eurostat, les définitions suivantes :

- Un secteur HEI a une intensité électrique > 1 kWh/€ (nb : les données ne sont pas en valeur ajoutée) ;
- Un secteur EI a une intensité électrique comprise entre 0,4 et 1 kWh/€ ;
- Les autres secteurs sont non-EI.

Ces seuils permettent de retrouver un classement proche du classement usuel. Il est donc appliqué aux projections à 2050 :

Statut	2018	2050 RI-L	2050 RI-H
Secteurs HEI	E16 – Sidérurgie E18 – Métallurgie E24 – Chimie minérale	E16 – Sidérurgie E18 – Métallurgie E22 – Verre E23 – Engrais E24 – Chimie minérale	E13 – Sucre E16 – Sidérurgie E18 – Métallurgie E20 – Plâtre/Ciment E22 – Verre E23 – Engrais E24 – Chimie minérale E26 – Chimie organique E35 – Papier / Carton E36 – Caoutchouc
Secteurs EI	E20 – Plâtre/Ciment E22 – Verre E23 – Engrais E26 – Chimie organique E35 – Papier / Carton E36 – Caoutchouc	E20 – Plâtre/Ciment E26 – Chimie organique E35 – Papier / Carton E36 – Caoutchouc	E21 – Céramique et ass. E25 – Plastique et ass.
Secteurs non EI	E12 – Lait E13 – Sucre E14 – IAA E19 – Minerais E21 – Céramique et ass. E25 – Plastique et ass. E28 – Pharmacie E29 – Fonderie E30 – Construction mec. E31 – Electr. & électron. E32 – Auto & trans. terr.	E12 – Lait E13 – Sucre E14 – IAA E19 – Minerais E21 – Céramique et ass. E25 – Plastique et ass. E28 – Pharmacie E29 – Fonderie E30 – Construction mec. E31 – Electr. & électron. E32 – Auto & trans. terr.	E12 - Lait E14 – IAA E19 – Minerais E28 – Pharmacie E29 – Fonderie E30 – Construction mec. E31 – Electr. & électron. E32 – Auto & trans. terr. E33 – Nav. Aéro. Arm. E34 – Textile & Hab. E37 – Plasturgie

	E33 – Nav. Aéro. Arm. E34 – Textile & Hab. E37 – Plasturgie E38 – Divers	E33 – Nav. Aéro. Arm. E34 – Textile & Hab. E37 – Plasturgie E38 – Divers	E38 – Divers

Les changements de statuts ont été reportés en gras. On constate qu'une grande partie des secteurs de la première transformation passe au statut HEI dans la variante « électrification haute » :

	Conso. Élec. 2018 (GWh)	Statut 2018	Conso. Élec. 2050 RI-L (GWh)	Statut 2050 RI-L	Conso. Élec. 2050 RI-H (GWh)	Statut 2050 RI-H
Total HEI	27 877	24%	54 947	30%	293 047	65%
Total EI	24 807	22%	41 904	23%	18 665	4%
Total non-EI	62 348	54%	89 035	48%	136 704	30%
TOTAL	115 032	100%	185 886	100%	448 416	100%

On constate donc que pour que la **variante « électrification haute »** soit un succès, il est nécessaire de disposer d'un volume d'électricité de 311 TWh (correspondant à la consommation des EI et HEI) à prix très attractif et avec une fiabilité de fourniture très élevée. Cela correspond à 35,6 GW de puissance installée avec un taux d'utilisation de 100%. Avec une hypothèse de disponibilité du parc nucléaire de 80%, c'est près de **43 GW de capacité de base (nucléaire) compétitive contre 4 GW en 2018** qui seront nécessaires avec cette variante.

Dans la **variante « électrification limitée »,** le volume d'électricité nécessitant un niveau de compétitivité prix très élevée (procédés hyper-électro-intensifs - HEI) s'élève à 56,3 TWh, soit 6,4 GW de puissance installée à taux d'utilisation de 100%. Avec une hypothèse de disponibilité du parc nucléaire de 80%, c'est près de 8 GW de capacité qui seront nécessaires dans ce cas. Un niveau de compétitivité prix de l'électricité moindre sera requis pour les secteurs électro-intensifs qui représentent 41,9 TWh de consommation, soit 4,8 GW (avec un taux de disponibilité de 100%) à 6 GW (avec un taux de disponibilité de 80%). Soit un total de **14 GW de capacité de base (nucléaire) compétitive nécessaire** avec cette variante, **dont 8 GW pour les HEI.**

g. Prix de l'énergie dans les scénarios RTE

Les données de l'annexe I de la consultation de RTE traduisent une compétitivité globale de la production du parc nucléaire relativement homogène. On considère alors que les surcoûts des scénarios « 100 % renouvelables » se situeront plutôt au niveau du réseau.

Scénario	PV (GW)	Eolien terrestre (GW)	Eolien en mer (GW)	Nucléaire ancien (GW)	Nucléaire nouveau (GW)	Hydraulique (GW)	Bioénergie (GW)
M1	185	55	40	15	0	30	5
M2	90	85	55	15	0	30	5
M3	105	55	65	15	0	30	5
M0	130	95	60	0	0	30	5
N1	75	70	45	15	13	30	5
N2	60	57	35	15	25	30	5

N3	40	45	30	15	40	30	5
N0	45	45	30	30	25	30	5

	PV	Eolien terrestre (GW)	Eolien en mer (GW)	Nucléaire ancien (GW)	Nucléaire nouveau (GW)	Hydraulique (GW)	Bioénergie (GW)
LCOE (€/GW/an)	64,04	72,74	118,33	182,37	197,03	60,00	100,00
Coût M1 (M€/an)	11 847	4 001	4 733	2 736	-	1 800	500
Coût M2 (M€/an)	5 763	6 183	6 508	2 736	-	1 800	500
Coût M3 (M€/an)	6 724	4 001	7 692	2 736	-	1 800	500
Coût M0 (M€/an)	8 325	6 910	7 100	-	-	1 800	500
Coût N1 (M€/an)	4 803	5 092	5 325	2 736	2 561	1 800	500
Coût N2 (M€/an)	3 842	4 146	4 142	2 736	4 926	1 800	500
Coût N3 (M€/an)	2 561	3 273	3 550	2 736	7 881	1 800	500
Coût N0 (M€/an)	2 882	3 273	3 550	5 471	4 926	1 800	500

Le coût total des capacités de production du parc à 2050, ramené à un coût annuel (lissage des CAPEX et coûts de démantèlement sur la durée de vie des installations + OPEX), est le suivant :

	M1	M2	M3	M0	N1	N2	N3	N0
Coût total (M€/an)	25 616	23 490	23 452	24 635	22 817	22 092	22 302	22 402

On constate que les surcoûts de prolongation du parc nucléaire sont de même niveau que ceux du renouvellement. Avec les données économiques fournies par RTE sur la production, il n'y a pas de moyen robuste de faire un arbitrage économique entre l'ensemble des scénarios : les scénarios de prolongation et de renouvellement du parc « N » sont néanmoins plus efficaces économiquement que les scénarios sans nucléaire « M ».

III. Hypothèses du modèle

Le modèle développé dans le cadre de cette étude s'appuie sur de nombreuses hypothèses. Celles-ci ont été estimées à dire d'experts, sur la base des connaissances sectorielles autant que possible. Des entretiens complémentaires avec des fédérations professionnelles ont été menés. Les résultats de cette étude et les estimations n'ont pas vocation à être des positions sectorielles et doivent être appréciés dans leur ensemble.

a. Données incomplètes

Les données économiques de 2018 ont essentiellement pour source Eurostat. Les données ont été exploitées par Prodcom et agrégées pour être homogènes avec les données de l'enquête annuelle de consommation d'énergie dans l'industrie (EACEI) de l'INSEE.

L'EACEI sur 2018 est complète, à l'exception de deux données :

- La consommation de chaleur de la métallurgie (hors sidérurgie)
- La consommation de chaleur de la production de minéraux

Ces deux données ont dû être retenues à 0 GWh en raison du secret statistique qui rend ces informations inaccessibles. On considère qu'il ne s'agit pas de secteurs gazo-intensifs significatifs en France, cependant cela conduit à une sous-estimation des consommations.

b. Croissance de la demande intérieure

Afin de projeter à 2050, on a calculé la demande intérieure (production – exportations + importations) et on l'a fait croître.
On a pris l'hypothèse de base d'une croissance démographique de 0,4% par an (utilisée dans les scénarios SNBC/RTE).
Dans certains secteurs, on a utilisé une hypothèse de croissance différenciée :

Secteur	Hypothèse spéciale de croissance annuelle de la demande	Source hypothèse
E13 - Sucreries	1%	Bonne dynamique sectorielle – Yggdrasill
E14 - Industries alimentaires, hors industrie du lait et du sucre	2%	Bonne dynamique sectorielle – Yggdrasill
E23 - Fabrication d'engrais	-2%	Réduction de la demande pour raisons environnementales – Boréalis
E24 - Autres industries de la chimie minérale	0,5%	Expertise France Chimie / VCI / Yggdrasill
E25 - Fabrication de matières plastiques, de caoutchouc synthétique et de fibres artificielles ou synthétiques	1%	Expertise France Chimie / VCI / Yggdrasill
E26 - Autres industries de la chimie organique de base	0,5%	Expertise France Chimie / VCI / Yggdrasill
E28 - Parachimie et industrie pharmaceutique	1,5%	Expertise France Chimie / VCI / Yggdrasill
E31 - Construction électrique et électronique	2%	Bonne dynamique sectorielle, enjeu de transition énergétique – Yggdrasill
E32 - Construction de véhicules automobiles et d'autres matériels de transport terrestre	1%	Enjeu de transition énergétique – Yggdrasill
E37 - Fabrication de produits en plastique	1%	Cohérence avec production matières plastiques, enjeu de transition énergétique - Yggdrasill

À noter que, sauf cas particulier, le même coefficient de croissance est appliqué aux exportations afin de réduire l'inconnue du volume en valeur absolue des importations / exportations, car seule leur différence est déterminée par la fixation de la balance commerciale.

c. Évolution de la balance commerciale

Il s'agit ici de prolonger le travail réalisé par Deloitte en 2020 pour le compte de l'UNIDEN et al. dans son étude sur l'impact sur l'empreinte carbone d'une réindustrialisation à 2035. Des hypothèses de rétablissement de la balance commerciale ont été prises selon les mêmes tendances, en estimant de meilleurs résultats à 2050.

Secteur	Balance 2018 (Eurostat) en % de la production	Hypothèse balance 2050 en % de la production
E12 - Industrie laitière	13,1%	15%
E13 - Sucreries	62,5%	65%
E14 - Industries alimentaires, hors industrie du lait et du sucre	4,2%	10%
E16 - Sidérurgie	28,9%	30%
E18 - Métallurgie de première transformation des métaux non ferreux	-83,5%	-60%
E19 - Production de minéraux divers	-36,6%	-20%
E20 - Fabrication de plâtres, produits en plâtre, chaux et ciments	-9,1%	0%
E21 - Production d'autres matériaux de construction et de céramique	-13,1%	0%
E22 - Industrie du verre	-7,7%	0%
E23 - Fabrication d'engrais	-106,0%	0%
E24 - Autres industries de la chimie minérale	-67,8%	-20%
E25 - Fabrication de matières plastiques, de caoutchouc synthétique et de fibres artificielles ou synthétiques	-7,8%	0%
E26 - Autres industries de la chimie organique de base	-25,4%	0%
E28 - Parachimie et industrie pharmaceutique	51,7%	60%
E29 - Fonderie et travail des métaux	-13,4%	0%
E30 - Construction mécanique	-10,1%	0%
E31 - Construction électrique et électronique	-86,0%	-25%
E32 - Construction de véhicules automobiles et	-26,6%	0%

d'autres matériels de transport terrestre		
E33 - Construction navale et aéronautique, armement	86,0%	86%
E34 - Industrie textile, du cuir et de l'habillement	-146,7%	-50%
E35 - Industrie du papier et du carton	-23,7%	0%
E36 - Fabrication de produits en caoutchouc	-73,3%	-25%
E37 - Fabrication de produits en plastique	-14,7%	0%
E38 - Industries diverses	-15,6%	0%

d. Hypothèse d'efficacité énergétique

Pour les secteurs intensifs en énergie, on considère une évolution de l'efficacité énergétique entre 2018 et 2050 de 5%. Il s'agit d'une augmentation totale et non annuelle.

Exceptions :

Secteur	Hypothèses d'efficacité énergétique spécifiques
E12 - Industrie laitière	20,0%
E13 - Sucreries	10,0%
E14 - Industries alimentaires, hors industrie du lait et du sucre	25,0%
E22 - Industrie du verre	3,5%
E28 - Parachimie et industrie pharmaceutique	15,0%
E30 - Construction mécanique	15,0%
E31 - Construction électrique et électronique	15,0%
E32 - Construction de véhicules automobiles et d'autres matériels de transport terrestre	15,0%
E33 - Construction navale et aéronautique, armement	20,0%
E34 - Industrie textile, du cuir et de l'habillement	3,5%
E35 - Industrie du papier et du carton	10,0%
E36 - Fabrication de produits en caoutchouc	10,0%
E37 - Fabrication de produits en plastique	20,0%
E38 - Industries diverses	15,0%

Moyenne pondérée de l'industrie	**8%**

Sources : maturité estimée des secteurs (expertise Yggdrasill) + entretiens fédérations professionnelles

Ces hypothèses d'efficacité énergétique sont considérées ambitieuses, et permettent d'atteindre, avec une moyenne pondérée de 8%, un plateau optimal de performance énergétique dès 2030. Ces hypothèses sont pour autant moins ambitieuses que les hypothèses retenues dans le cadre de la SNBC, car :

- Elles prennent en compte les seules meilleures technologies disponibles (MTD) en l'état actuel de nos connaissances qui sont applicables aux installations existantes ; certains gisements ne sont en effet accessibles que dans des hypothèses peu probables de création de nouvelles installations *ex nihilo* ;
- Elles considèrent les efforts déjà réalisés par les industriels ayant déjà réduit très fortement leurs consommations ces dernières années ;
- Elles tiennent compte des impacts négatifs des scénarios d'électrification et de décarbonation qui engendrent des hausses des consommations spécifiques d'énergie, toutes choses égales par ailleurs.

e. Coefficient d'électrification de la consommation de chaleur

Par défaut, un scenario « faible » à 5% des consommations de chaleur électrifiées (scénario avec gaz vert abondant) a été retenu, et par défaut un scénario « fort » à 80% de la consommation de chaleur électrifiée (scénario avec prix de l'électricité attractif et ruptures technologiques).

Exceptions :

Secteur	Hypothèse de switch combustible vers électricité, RI-L	Hypothèse de switch combustible vers électricité, RI-H
E18 - Métallurgie de première transformation des métaux non ferreux	10%	80%
E22 - Industrie du verre	20%	50%
E23 - Fabrication d'engrais	20%	200% (considérant la substitution de gaz matière première en plus de la chaleur)
E26 - Autres industries de la chimie organique de base	10%	90% (communication BASF)
E28 - Parachimie et industrie pharmaceutique	20%	80%
E29 - Fonderie et travail des métaux	20%	80%
E30 - Construction mécanique	50%	90%

E35 - Industrie du papier et du carton	5%	50%
Moyenne pondérée de l'industrie manufacturière	**8%**	**80%**

Sources : expertise Yggdrasill et entretiens fédérations professionnelles

À noter que l'électrification d'1 MWh de combustible nécessite 1,5 MWh d'électricité dans l'état actuel du modèle. Les rendements précis des électrolyseurs à 2050 n'ont pas été estimés.

IV. Exemples d'apports de l'industrie à la transition énergétique

L'objet de cette partie est de rappeler, à travers quelques exemples ponctuels, que les scénarios de transition énergétique sont, en eux-mêmes, des plans de développement de l'industrie en France s'ils sont bien construits pour favoriser le dynamisme des filières industrielles françaises. Ainsi, étant donné les très importants ordres de grandeur, un effet vertueux peut se matérialiser sur l'ensemble de l'économie française si la production est bien localisée ou relocalisée de l'amont à l'aval. Il est également à considérer qu'un savoir-faire français bien établi dans les domaines de l'énergie aura une grande valeur à l'exportation.

a. Impact du développement éolien en France sur la demande d'acier

- **Eolien terrestre**

La PPE 2019 a retenu une capacité installée à terre passant de 15,1 GW en 2020 à 34 GW (moyenne de la fourchette) en 2028 soit, en retenant une puissance moyenne par mât passant de 1,7 MW à 2,25 MW, près de 15 000 mâts à cet horizon.

Au-delà, l'on peut considérer une croissance quasi nulle du parc installé jusqu'en 2050, jusqu'à 35 GW, essentiellement par *repowering,* les nouveaux sites accessibles dans des conditions techniques, économiques et sociales acceptables devenant très limités, au moins en métropole.

- **Eolien marin**

La PPE 2019 a retenu une capacité installée en mer passant de pratiquement 0 (1 mât) en 2020 à 5,7 GW (moyenne de la fourchette) en 2028, soit en retenant une puissance moyenne par mât portée à 7 MW, environ 815 mâts à cet horizon.

Au-delà, et pour les mêmes raisons que pour l'éolien terrestre, il est considéré une croissance quasi nulle du parc installé en métropole jusqu'à 2050, pour atteindre 6 GW, soit environ 850 mâts, à cet horizon.

Au total, pour les installations à terre et en mer d'ici 2050, le besoin cumulé d'acier correspondant s'élève à 2,2 Mt – essentiellement donc d'ici 2028 – et un peu plus de 7,4 Mt de béton, soit 2,4 Mt de ciment.

En considérant que la France soit, notamment du fait de ses installations de production d'éoliennes marines, capable de capter une partie - retenue à hauteur de 10% - de la demande européenne, le besoin cumulé total d'acier adressé à la France s'élèverait à 4 Mt d'ici 2050.

b. Impact du renouvellement du parc nucléaire en France sur la demande d'acier et de béton

La construction d'un EPR (1650 MW) requiert 75 000 t d'acier et près de 900 000 t de béton (385 000 m3), soit 290 000 t de ciment.

Ainsi dans l'hypothèse de 6 EPR en remplacement de 12 tranches prévues pour être arrêtées, le besoin total sera de 450 000 t d'acier et 5,4 Mt de béton, soit un peu plus de 1,7 Mt de ciment.

c. Gigafactories de batteries

Afin de stabiliser le réseau et d'alimenter la mobilité électrique, de nombreux projets de production de batteries par « gigafactories » vont émerger dans la décennie à venir et se développeront jusqu'en 2050. De façon générale, pour la France la capacité unitaire finale de ces gigafactories est estimée à 24 GWh (soit 3 lignes de 8 GWh). Pour la France seule, deux seraient mises en service d'ici 2030 et quatre d'ici 2050, soit une capacité totale installée de 96 GWh à cette échéance.

La production d'une ligne de batteries de 8 GWh mobilise une consommation électrique de 220 GWh par an (soit 50 MW de capacité). Soit une consommation de 27,5 kWh d'électricité par kWh de batterie produit. La consommation électrique de ces usines sera donc significative à terme : 2,6 TWh, soit une puissance installée de 600 MW en 2050.

Un projet de gigafactory d'ACC (JV Stellantis - Saft) est lancé à Douvrin. Une deuxième gigafactory - dans le Nord de la France également - a été annoncée pour 2027. On assisterait ensuite à une croissance de ces usines par pas de 8 GW correspondant à la capacité de production d'une ligne d'assemblage normalisée. En retenant l'hypothèse que 45% de ces batteries seront exportées, la production de ces gigafactories atteindrait en 2050 1,75 millions de batteries de 30 kWh en moyenne, soit une production correspondante de VE en 2050 égale à la production de VL 2019 en France. Les 8 gigafactories considérées reflètent donc le basculement à 100% de la production française des véhicules thermiques vers l'électrique d'ici 2050.