

NOTE D'ANALYSE

Les INDC et le budget carbone

Simulation de trajectoires d'émission compatibles avec le budget carbone +2°C

En 2016, suite à l'Accord de Paris, *The Shift Project* a analysé les contributions nationales des pays (INDC) à la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) au regard du budget carbone de 1000 Gt CO₂ correspondant au scénario 2°C du GIEC. Cette note, publiée à l'occasion de la clôture de la COP22 à Marrakech, présente la méthode et les résultats d'une simulation de trajectoires d'émissions compatibles avec l'objectif d'une augmentation de la température planétaire limitée à +2°C entre le début de l'ère industrielle et la fin du siècle. L'analyse conjointe des INDC et du budget carbone met en lumière le caractère déterminant du facteur temps.

Auteur : Pierre Lachaize, Chef de Projet, *The Shift Project*¹

L'auteur remercie Nicolas Dorville, Marie Degremont, Aloun Vangkeosay et Maxim Polyavित्रy.

Table des matières :

I- L'humanité est engagée dans une course contre la montre.....	2
Vouloir transformer 10% de son économie chaque année est illusoire	2
Attendre dix ans, c'est renoncer à l'objectif	2
Le monde est prêt à basculer dans la transition : agissons !.....	3
II- Méthode d'application du « budget carbone » aux trajectoires de réduction des émissions de GES	4
III- Détermination des valeurs INDC en Gt CO ₂	5
IV- Détermination des trajectoires à effort constant.....	6
V- Détermination des valeurs remarquables	7
VI- Illustration graphique.....	8
VII- Intégration d'une phase de transition au démarrage de l'effort.....	9

¹ *The Shift Project* est un think tank qui vise à éclairer et à influencer la transition énergétique française et européenne. Fondé en 2010 par Jean-Marc Jancovici, Michel Lepetit et Geneviève Féronne-Creuzet, *The Shift Project* est devenu en un peu plus de six ans un acteur reconnu, et qui compte quinze grandes entreprises parmi ses membres. À l'interface du monde académique, des entreprises, de la société civile et des pouvoirs publics, *The Shift Project* porte des propositions ambitieuses et d'intérêt général, en accord avec les constats scientifiques, dans un contexte où peinent à émerger des scénarios de transition viables à la fois pour les ressources de la planète et pour une économie soutenable.

I- L'humanité est engagée dans une course contre la montre

Malgré le succès diplomatique que représente l'Accord de Paris, les engagements volontaires des pays signataires (les INDC) correspondent en pratique à une **augmentation continue** des émissions annuelles de gaz à effet de serre (GES) d'ici à 2025. En 2025, le monde émettrait presque 6% de plus de GES qu'en 2015, et presque 40% de plus qu'en 1990. Certes, d'aucuns soutiennent que sans la COP21 cette croissance des émissions de GES aurait été du double, de l'ordre de 12% entre 2015 et 2025, mais cela reste très insuffisant : la trajectoire actuelle nous emmène au-delà de +3°C de hausse de la température moyenne terrestre d'ici la fin du siècle.

Pour avoir une chance raisonnable de rester en dessous d'une augmentation de température de +2°C, le volume cumulé de CO₂ émis par l'homme entre 2011 et la fin du 21^{ème} siècle ne doit pas dépasser un « budget carbone » de 1000 Gt CO₂². En outre, les émissions de 2100 devront être nulles, quelle que soient les valeurs intermédiaires par lesquelles nous passerons en 2025 ou 2030.

Vouloir transformer 10% de son économie chaque année est illusoire

Si par hypothèse on engage cette réduction à partir de 2025 et à effort constant (un même pourcentage de réduction d'une année sur l'autre), le calcul montre qu'il faut baisser nos émissions de 10% chaque année. Cette réduction intègre une baisse de nos besoins énergétiques, un abandon des énergies carbonées au profit des énergies bas-carbone et le développement de technologies de captation du CO₂. Il s'agit donc d'une réduction nette de nos émissions, c'est à dire du solde entre les émissions et les captations de CO₂.

Ce chiffre de -10% constitue une référence moyenne de la réduction des émissions à partir de 2025. Il correspond à une réduction par deux des émissions en sept ans ! C'est un effort considérable.

Tout responsable politique, ou tout chef d'entreprise, sait qu'il est extrêmement difficile, voire illusoire, de vouloir transformer durablement, tous les ans, 10% de son économie. Les plus optimistes imaginent cependant que ce pari est tenable grâce à une baisse drastique du coût des énergies renouvelables et au développement des techniques de captation de CO₂.

Attendre dix ans, c'est renoncer à l'objectif

Engager cette réduction mondiale dès 2017 reste donc la seule option ouverte pour respecter Paris, et même dans ce cas il faut un effort titanesque et constant. Les émissions devront en effet baisser de 5% par an dès 2018³. En France, qui est un des pays qui a le plus baissé ses émissions de CO₂ par habitant depuis 1970 (de 10 tonnes en 1973 à environ 5,5 en 2015), il aura fallu 40 ans pour une division par deux, alors qu'au niveau mondial on parle de 35 ans pour une division par 3...

En outre, la France a fait une large partie du chemin (environ 3 tonnes par personne) en nucléarisant la production électrique, option que nombre de gros pays très émetteurs n'envisagent pas aujourd'hui de suivre avec la même détermination que celle qui fut la nôtre.

² Chiffre régulièrement diffusé par le GIEC dans leurs rapports d'évaluation, et plus récemment dans le document de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC) compilant les contributions nationales des Etats (INDC) du 2 mai 2016 (FCCC/CP/2016/2), pp.13 et 48 : http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/9240.php. Ce budget carbone est défini pour avoir une chance « *likely* », c'est-à-dire de 66%, de rester en dessous de 2°C. Le budget de 1000 Gt CO₂ ne comprend que le seul CO₂, et non les autres gaz à effet de serre (dans ce cas on s'exprime en Gt CO₂équivalent).

³ Les valeurs exactes sont respectivement : -5,4% à partir de 2018, -6,3 % à partir de 2020, - 9,4% à partir de 2025.

Il y a donc une véritable urgence. Chaque année qui passe sans enclenchement de la baisse rend plus improbable l'objectif des 2°C, et attendre 10 ans sans que les INDC ne soient modifiés signera la mort de l'Accord de Paris. Attendre parce que « cela sera plus facile plus tard » est illusoire : rien ne garantit que le contexte financier et technologique nous rendra deux fois plus efficaces et deux fois plus rapides dans 10 ans, et en fait tout indique le contraire.

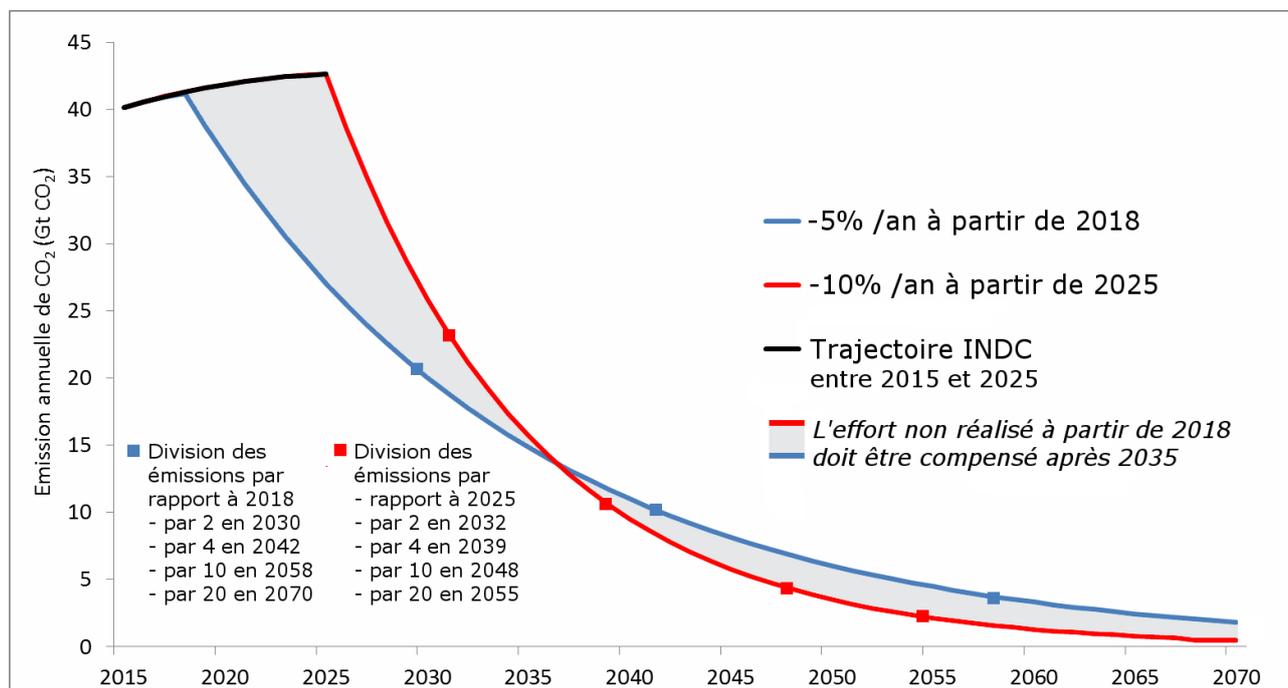


Schéma I – Trajectoires d'émission compatibles avec une hausse de température limitée à 2%

Le monde est prêt à basculer dans la transition : agissons !

Malgré les 932 gigawatts de centrales thermiques au charbon en développement et les 350 gigawatts en construction, ce sont 158 gigawatts qui ont été abandonnés rien qu'entre janvier et juillet 2016⁴. De nombreux pays engagent de concert la lutte contre le changement climatique et la pollution atmosphérique, comme la Chine dont les émissions ont baissé de 0,7% en 2015, alors que les émissions des États-Unis baissaient de 2,6%⁵.

L'Afrique pourrait « sauter » en partie la phase d'un développement « carboné » et s'engager dans la création d'une prospérité plus verte. Le monde de la finance, qui intègre de plus en plus les enjeux de long terme, donne des signes encourageants concernant la prise en compte du changement climatique dans ses mécanismes d'investissement, mais le rythme est encore bien trop lent au regard des enjeux physiques.

L'Accord de Paris, que nous espérons conforté par des avancées concrètes de la COP22 à Marrakech, doit être le commencement d'un profond mouvement de transformation. Nous n'avons plus d'autres choix que de nous engager sans tarder dans une réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre. La frontière entre « c'est encore possible » et « c'est devenu totalement inatteignable » est dramatiquement liée à ce que nous ferons et déciderons dans les trois ans. Sans une mobilisation exceptionnelle rapide la COP 21 restera dans l'histoire au mieux comme un espoir déçu, au pire comme aveuglement collectif.

⁴Christine Shearer, Aiqun Yu and Ted Nace for CoalSwarm (2016), "A Shrinking Coal Plant Pipeline: Mid-2016 Results from the Global Coal Plant Tracker"

⁵ Le Quéré et al. (2016): Global Carbon Budget 2016, Earth System Science Data

II- Méthode d'application du « budget carbone » aux trajectoires de réduction des émissions de GES

Nous avons construit toutes les trajectoires sous contrainte d'un volume cumulé des émissions de CO₂ de 1000 Gt CO₂ à partir de 2011. Ce chiffre apparaît notamment dans les rapports d'évaluation du GIEC et de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique (CCNUCC):

- « According to the AR5, the total global cumulative emissions since 2011 that are consistent with a global average temperature rise of less than 2°C above pre-industrial levels at a likely (>66 per cent) probability is approximately 1 000 Gt CO₂ »⁶ ;
- « According to the AR5, global cumulative CO₂ emissions after 2011, for a likely chance of keeping global average temperature rise below 2°C, should be limited to less than 1 000 Gt CO₂ »⁷.

Ce « budget carbone » est défini avec un niveau de confiance qualifié de « *likely* », c'est-à-dire de 66%. L'ensemble des résultats qui suivent ne doivent donc pas être pris comme des certitudes exactes, mais comme des contributions à la définition de trajectoires « raisonnables » pour tenir l'objectif de +2°C.

L'unité de définition du budget carbone est la gigatonne de dioxyde de carbone (Gt CO₂). Cela signifie que seules les émissions de CO₂ sont prises en compte et non celles des autres gaz à effet de serre (GES), qui elles sont traduites en Gt CO₂ équivalent. A titre d'exemple, en 2011 les émissions totales de CO₂ sont de 38 Gt CO₂ et les émissions totales de gaz à effet de serre en équivalent CO₂ sont de 49 Gt CO₂éq.

Ces émissions sont anthropiques nettes : elles correspondent aux « émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre »⁸. Par absorption, on entend un usage adapté des sols, des techniques de stockage ou de transformation du CO₂, etc. A noter que, sous réserve d'un effort de recherche et d'industrialisation important, les effets de captation du CO₂ pourraient être significatifs à partir de 2030.

⁶ CCNUCC (2016), "Updated synthesis report on the aggregate effect of INDCs – published 2 May 2016", pp.13-44. <http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/9240.php>

⁷ CCNUCC (2016), "Updated synthesis report on the aggregate effect of INDCs – published 2 May 2016", pp.48-211. <http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/9240.php>

⁸ Accord de Paris, Article 13 §7 a)

III- Détermination des valeurs INDC en Gt CO₂

Les INDC (Intended nationally determined contribution) prennent en compte l'ensemble des GES et sont exprimées en Gt CO₂éq. Pour rendre ces valeurs homogènes avec le budget carbone de 1000 Gt CO₂ il faut donc réaliser une approximation de leur contenu en CO₂ seul.

Le scénario de référence retenu est le scénario INDC 2030 actuel, tel que défini par la CNUCCC dans son rapport de synthèse du 2 mai 2016⁹. Nous partons donc de trois valeurs : 2015, 2020 et 2025 en reproduisant le même taux de croissance depuis 2011 sur l'ensemble des GES et sur le CO₂.

Exemple : en 2020 la valeur INDC est de 54 Gt CO₂éq, soit + 10,2% par rapport à 2011 ; la valeur en CO₂ est donc +10,2%, appliqué à 38 soit 42 Gt CO₂.

Les trois valeurs 2015, 2020, 2025 ont été choisies pour tenir compte de la « courbure » des émissions de GES qui réduisent leur progression. Entre ces trois valeurs il y a juste une réduction linéaire.

Les données prises en compte proviennent du rapport de l'UNFCCC¹⁰, et notamment du graphique suivant :

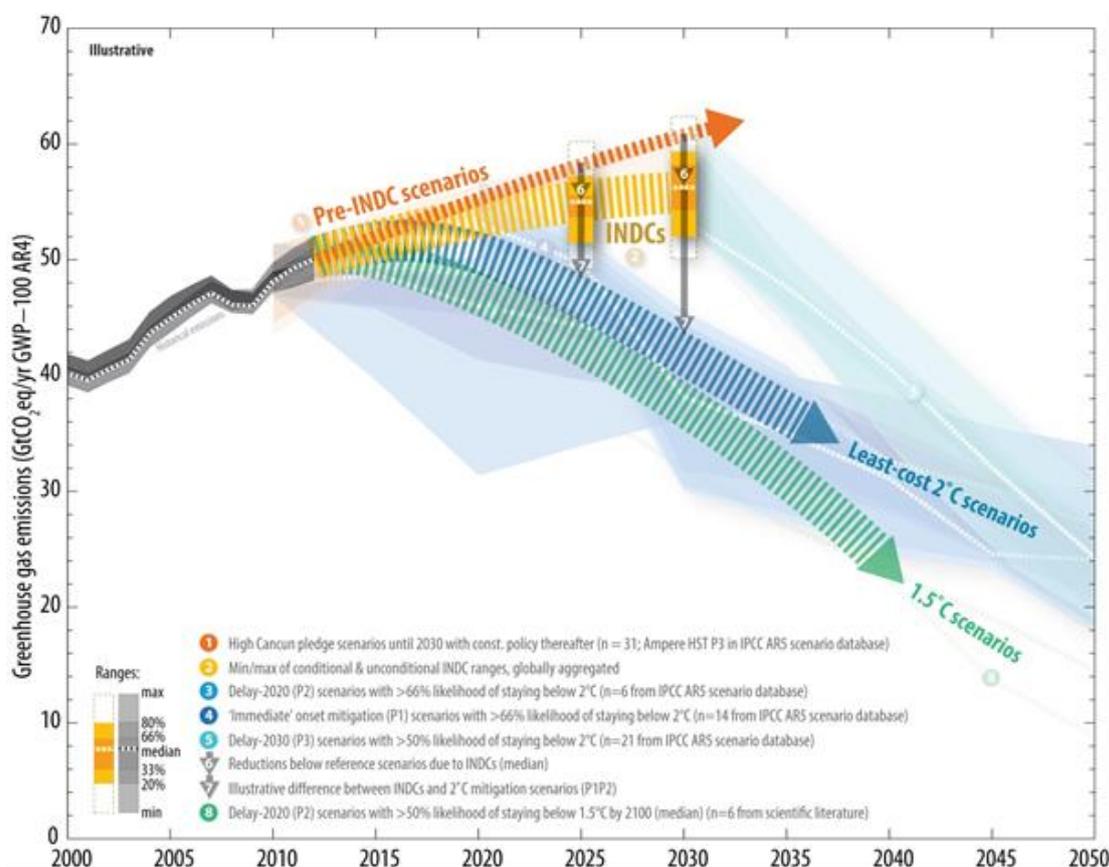


Figure 1 – CCNUCC (2016), “Updated synthesis report on the aggregate effect of INDCs – published 2 May 2016”

⁹ Il convient de préciser que nous avons appliqué le même ratio de CO₂ dans le mix GES pour toute la période 2011-2100. Or ce ratio sera amené à évoluer de quelques pourcents. En effet, le ratio de CO₂ dans le mix de GES évoluera probablement à la baisse, notamment car les activités émissives en méthane n'évolueront pas au même rythme que les activités émissives en CO₂. Voir OECD Environmental Outlook to 2050 (2012), Climate Change Chapter, pp.53 <http://www.oecd.org/env/cc/Outlook%20to%202050_Climat%20Change%20Chapter_HIGHLIGHTS-FINA-8pager-UPDATED%20NOV2012.pdf> (Figure 3.20: GHG abatements in the 450 Core Accelerated Action and 450 Core scenarios compared to the Baseline, 2020 and 2030, Abatement by GHGs)

¹⁰ CCNUCC (2016), “Updated synthesis report on the aggregate effect of INDCs – published 2 May 2016”. <http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/9240.php>

IV- Détermination des trajectoires à effort constant

Les données du graphique précédent ont permis de déterminer les émissions annuelles en CO₂ et les volumes cumulés d'émissions depuis 2011. Pour chaque année il est alors possible de déterminer le budget carbone restant et le taux de réduction des émissions permettant de respecter ce budget¹¹. A titre d'information le nombre d'années « disponibles » à émission constante est aussi précisé.

Le tableau ci-après présente l'ensemble de ces calculs jusqu'en 2025.

Tableau I – Détermination des taux de réduction des émissions de CO₂ en fonction de l'année de démarrage

	INDC (Gt O ₂ éq)	Emissions (Gt CO ₂)	Consommation cumulée (Gt CO ₂)	Budget carbone restant (Gt CO ₂)	Années restantes à rythme d'émission constant	Exposant	Taux de réduction annuel (%/an)
2011	49	38	0	1000	26,32	-0,0380	-3,73
2012		38,54	38,54	961,46	24,95	-0,0401	-3,93
2013		39,09	77,63	922,37	23,60	-0,0424	-4,15
2014		39,63	117,26	882,75	22,28	-0,0449	-4,39
2015	51,8	40,17	157,43	842,57	20,97	-0,0477	-4,66
2016		40,51	197,94	802,06	19,80	-0,0505	-4,93
2017		40,85	238,79	761,21	18,63	-0,0537	-5,23
2018		41,20	279,99	720,01	17,48	-0,0572	-5,56
2019		41,54	321,53	678,47	16,33	-0,0612	-5,94
2020	54	41,88	363,40	636,60	15,20	-0,0658	-6,37
2021		42,03	405,44	594,56	14,14	-0,0707	-6,83
2022		42,19	447,63	552,37	13,09	-0,0764	-7,35
2023		42,34	489,97	510,03	12,05	-0,0830	-7,97
2024		42,50	532,46	467,54	11,00	-0,0909	-8,69
2025	55	42,65	575,12	424,88	9,96	-0,1004	-9,55

¹¹ Chaque année « A » nous disposons donc d'un niveau d'émission « EA » et d'un solde de budget carbone « SA » défini comme la différence entre le budget carbone de 1000 Gt CO₂ et le cumul des émissions depuis 2011. La fonction qui correspond à une réduction des émissions à effort constant (même taux de réduction d'une année sur l'autre), à partir de l'année A, est une exponentielle de la forme :

- EN (émissions de l'année N) = EA EXP(e (N-A)) avec l'exposant e = -EA/SA.
- L'intégration de cette fonction entre l'année A et l'infini est bien égale à SA.
- Le taux de réduction d'une année sur l'autre est : EXP(e)-1

V- Détermination des valeurs remarquables

L'objectif est de déterminer combien d'années sont nécessaires pour réduire les émissions d'un facteur x. Ce nombre d'années est égale à $\text{LN}(1/x) / e$ (avec e l'exposant de la courbe)

Exemple : pour réduire les émissions par 2 avec un exposant de $-0,05$ on doit avoir $\text{EXP}(-0,05 N) = 0,5$ soit $N = \text{LN}(0,5)/-0,05$, soit 14 ans.

Le tableau ci-dessous présente le nombre d'années permettant d'atteindre un taux de réduction des émissions en fonction de l'année où « l'effort s'engage ».

Tableau II – « Vitesse » de réduction des émissions

	Nombre d'années nécessaires pour réduire les émissions d'un facteur donné			
	Facteur 2 -50%	Facteur 4 -75%	Facteur 10 -90%	Facteur 20 -95%
2011	18,2	36,5	60,6	78,8
2012	17,3	34,6	57,4	74,7
2013	16,4	32,7	54,3	70,7
2014	15,4	30,9	51,3	66,7
2015	14,5	29,1	48,3	62,8
2016	13,7	27,4	45,6	59,3
2017	12,9	25,8	42,9	55,8
2018	12,1	24,2	40,2	52,4
2019	11,3	22,6	37,6	48,9
2020	10,5	21,1	35,0	45,5
2021	9,8	19,6	32,6	42,4
2022	9,1	18,2	30,1	39,2
2023	8,3	16,7	27,7	36,1
2024	7,6	15,3	25,3	33,0
2025	6,9	13,8	22,9	29,8

VI- Illustration graphique

Schéma I – Trajectoires d'émission compatibles avec une hausse de température limitée à 2%

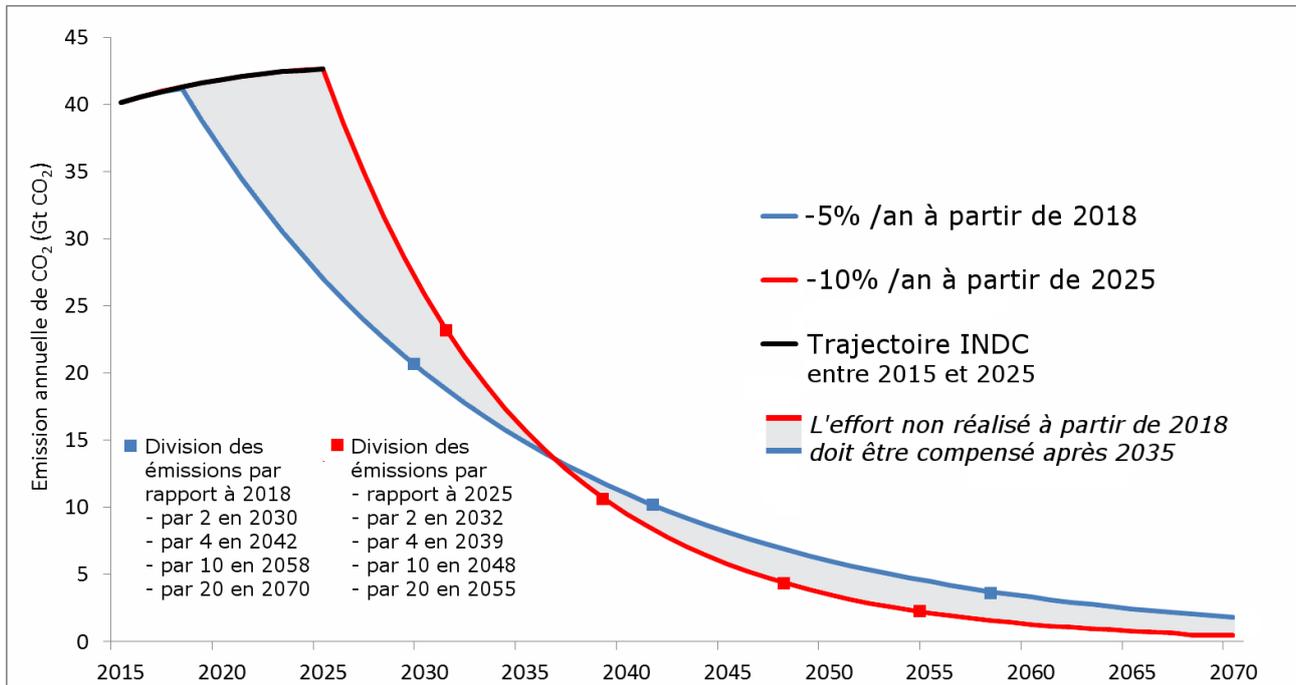
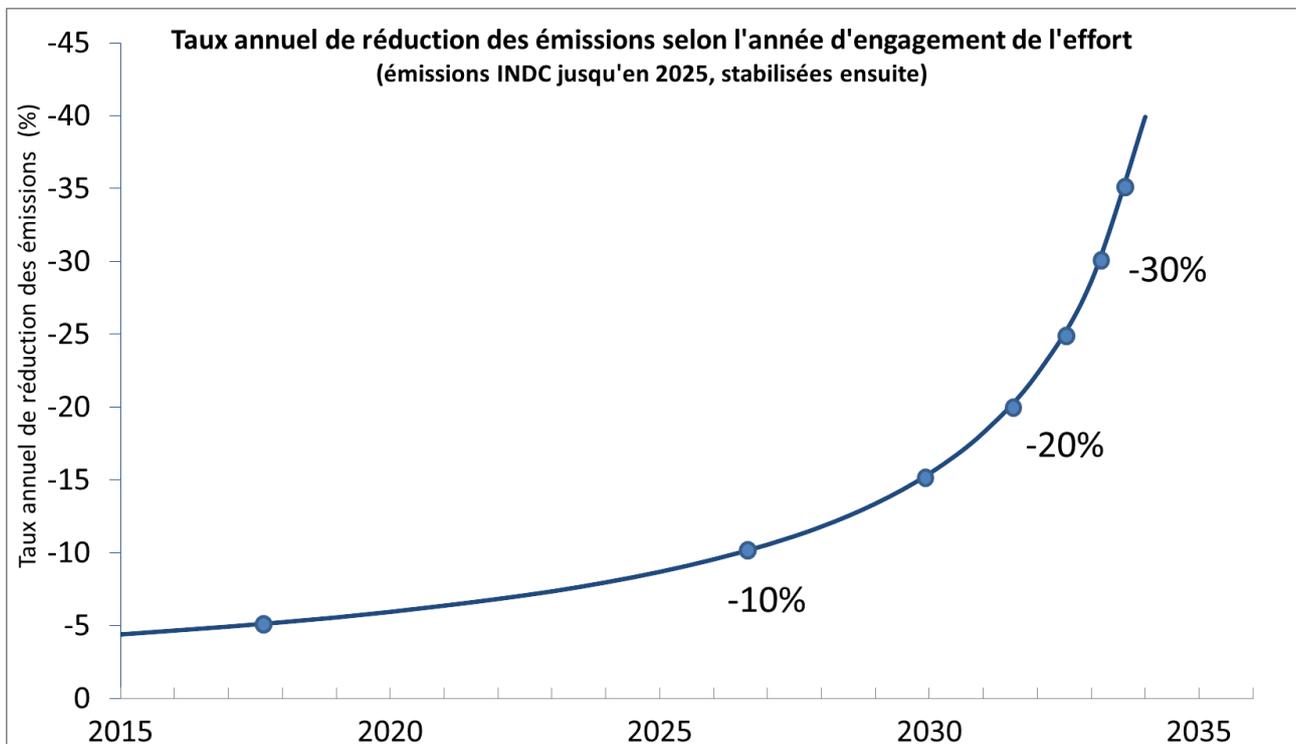


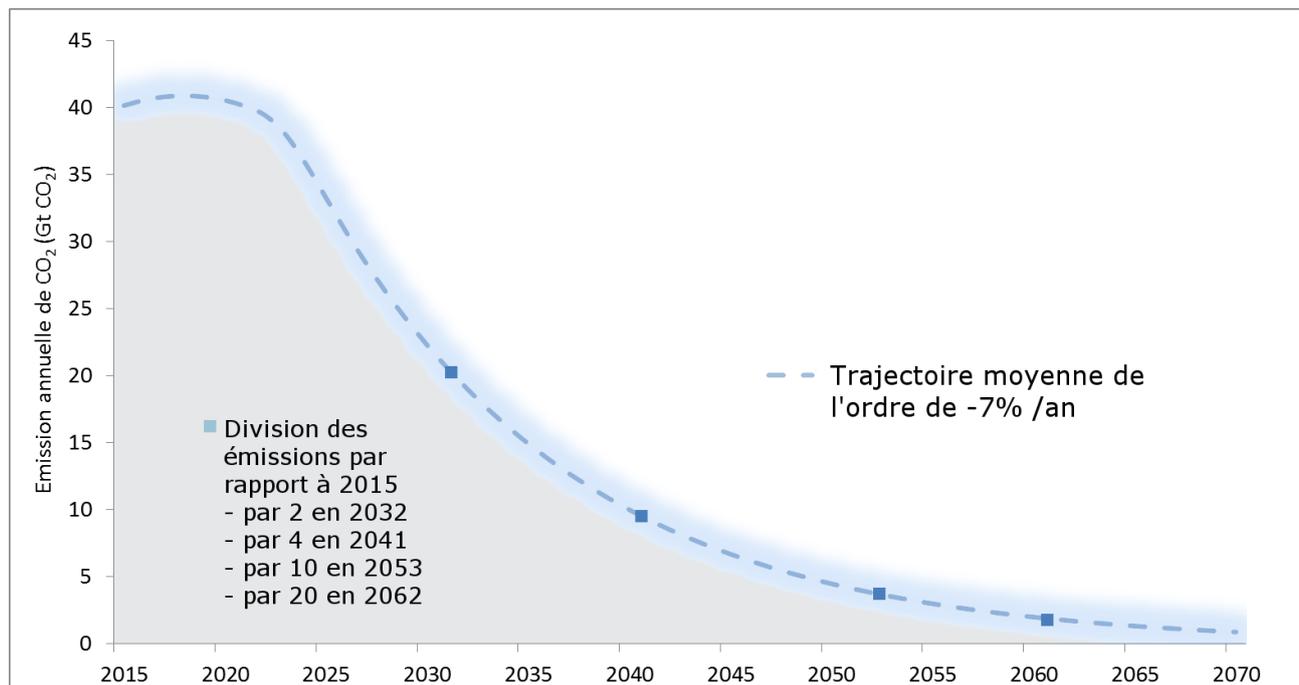
Schéma II – Augmentation de l'effort en fonction du « délai d'attente »



VII- Intégration d'une phase de transition au démarrage de l'effort

Il est raisonnable de penser que les émissions ne vont pas passer directement d'une situation de faible croissance à une situation de réduction continue comprise entre -5 et -10%. L'amorçage de l'effort peut cependant se faire sur 2 ou 3 ans. La courbe suivante présente un scénario de réduction qui démarre en 2018 pour « récupérer » la courbe exponentielle de l'année 2022, soit une réduction continue de l'ordre de -7%.

Schéma III – Trajectoire d'émission cible



The Shift Project, association reconnue d'intérêt général, est un think-tank dont la mission est d'éclairer et influencer le débat sur la transition énergétique en Europe :

- **ÉCLAIRER** : nous constituons des groupes de travail autour des enjeux les plus délicats et les plus décisifs de la transition ;
- **INFLUENCER** : nous faisons la promotion des recommandations de nos groupes de travail auprès des décideurs politiques et économiques.

The Shift Project est soutenu par de grandes entreprises françaises et européennes qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité stratégique.

Contacts :

Matthieu Auzanneau, Directeur
+33 (0) 6 80 91 94 29
matthieu.auzanneau@theshiftproject.org
Pierre Lachaize, Chef de Projet
+33 (0) 6 10 70 83 89
pierre.lachaize@theshiftproject.org
www.theshiftproject.org