

Financer la transition énergétique

Financing the energy transition

P. Jean Valayer^{1,2}, Noémie Wouters³

¹ PJV Energy, Dunkerque, France, pjuvenery@orange.fr

² Membre associé du Laboratoire de Recherche sur l'Industrie et l'Innovation (Université du Littoral Côte d'Opale), Dunkerque, France

³ Université de Gand, Belgique, noemie.wouters6@icloud.com

RÉSUMÉ. Les réserves publiées de pétrole et de gaz sont suffisantes pour saturer le budget carbone publié par le GIEC. Nous semblons être dans la perspective, soit d'un climat emballé faute d'arrêter l'extraction des produits carbonés à temps, soit de pertes aux conséquences économiques guère prévisibles dues à l'échouage considérable d'actif carbonés, qu'une réglementation devenue existentielle contraindrait. Pour y faire face, le présent article propose de mettre en place au plus vite une procédure comptable au sein des entreprises alimentant la chaîne énergétique carbonée. Elle consiste en une provision prévoyant le remplacement des actifs consacrés aux énergies carbonées. Financée dès sa mise en place, elle assurera la décarbonation des décisions d'investissement, en amont. Au sein des comptes annuels des industries productrices de pétrole, de gaz et de charbon, la nécessité de remplacer les actifs associés aux énergies dépendantes du carbone d'origine fossile sera ainsi actée en son cœur. Invitant la fourniture en temps opportun du capital nécessaire pour éviter l'échouage, la provision sera calculée selon une valeur comptable énergétiquement équitable des actifs ainsi destinés à être remplacés... à temps. Dans un contexte où les technologies d'énergies propres sont avides de financement, où le système de quota d'émission donne manifestement des signaux insuffisants aux investisseurs, mais où des précédents d'investissement sont malgré tout inspirants, on aborde les éléments clefs visés par notre procédure, dont son efficacité en capacité convertie, comblant - à temps ? - le besoin en énergies propres, son attractivité pour les investisseurs... et la disponibilité financière. Il faudra en dessiner la feuille de route avec la participation de gouvernances internationales juridiques et financières dont nous justifions la liste.

ABSTRACT. Published oil and gas reserves are sufficient to saturate the carbon budget published by the IPCC. Our prospects seem to be: either of a failing to stop the extraction of carbon products in time to avoid climate disaster, or of incurring economic losses with hardly predictable consequences due to the considerable stranding of carbon assets, brought about by constraining but existential regulations. To face this situation, this article proposes to put in place as quickly as possible an accounting procedure within companies supplying the carbon energy chain. It consists of a provision providing for the replacement of assets dedicated to carbon energy. Funded from its implementation, it will ensure the decarbonization of investment decisions upstream. Within the annual accounts of industries producing oil, gas and coal, the need to replace assets associated with energies dependent on carbon of fossil origin will thus be recorded at its heart. Inviting the timely provision of the capital necessary to avoid stranding, the provision will be calculated according to an energy-fair book value of the assets thus intended to be replaced... on time. In a context where clean energy technologies are hungry for financing, where the emissions quota system clearly gives insufficient signals to investors, but where investment precedents are nevertheless inspiring, we address key success factors involved by our procedure, including its effectiveness in conversion capacity, filling - on time? - the need for clean energy, and its attractiveness for investors. It will be necessary to draw the road map with the participation of international legal and financial governance, the list of which we justify.

MOTS-CLÉS. Transition financière, décarbonation, mitigation des émissions, énergie du carbone, gouvernance.

KEYWORDS. Financial transition, decarbonization, emission mitigation, carbon energy, governance.

1. Introduction : décarboner à temps

Contenu dans le bois, ou les mines, le carbone a été l'outil de l'expansion de l'humanité, par sa chimie à usages multiples. Combiné avec l'oxygène de l'air, il a apporté l'énergie industrielle que ne pouvaient pas fournir les moulins à vent ou à eau. Combinée avec l'eau, il a permis la fabrication de l'ammoniac, et de tous les engrais azotés qui en dérivent, une fertilité à la source de l'accroissement de la population mondiale[ENE 22, SMI 01]. Le ciment et les bétons de nos constructions modernes s'obtiennent par calcination du calcaire qui avait, au cours des siècles, séquestré le carbone au fond des mers. Dans le procédé, il libère le gaz carbonique (CO₂) du calcaire. L'impact du CO₂ dans le réchauffement de l'atmosphère avait été estimé, avec une bonne approximation vers la fin du 19^{ème} siècle, par l'un des maîtres de la chimie industrielle moderne[ARR 96, BP 20, ENE 22, UNC 22]. A l'époque, il se souciait de distinguer l'impact thermique comparé des variations des orbites planétaires, et des taux de CO₂ présent dans l'atmosphère.

Voilà plus d'une génération qu'on essaie de faire face : « Depuis plus de 30 ans, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) évalue l'état des connaissances sur l'évolution du climat, ses causes, ses impacts »[ENE 22, GOU 23]. « L'accord de Paris a été adopté par 196 Parties lors de la COP 21 ... le 12 décembre 2015 »[SHE 77, UNF 24]. Dans le courant de 2023 le GIEC publie sa mise à jour des budgets d'émission de CO₂ depuis 2020 qui peuvent être compatibles avec une hausse de température atmosphérique inférieure à 1,5°C avec 50% de probabilité, et inférieure à 2°C avec 67% de probabilité[IPC 23]. En Décembre 2023, « L'accord de la COP28 marque le "début de la fin" de l'ère des combustibles fossiles »[UNF 23a].

Entre temps, l'industrie pétrolière et gazière continue d'accroître ses réserves au-delà des limites calculées par le GIEC, comme illustré dans la figure 1, transformée en équivalent CO₂. L'industrie

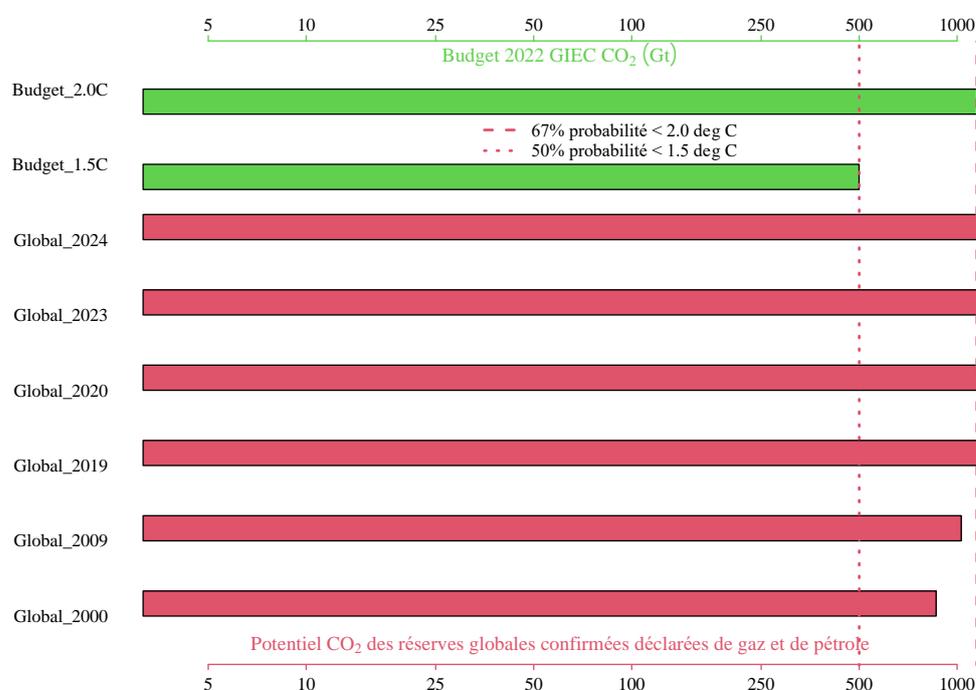


Figure 1 Les réserves publiées par l'industrie pétrolière et gazière sont incompatibles avec les budgets du GIEC [BP 20, ENE 22, XU 23]

charbonnière viendrait en sus !

On voit, dans l'annexe (1), que ces réserves assurent plus de 50 ans de production au rythme actuel. Si elles sont incompatibles avec les budgets-carbone, et si nous sommes arrivés au « début de la fin de

l'ère des combustibles fossiles », pourra-t-on faire face à la décarbonation nécessaire, à temps ? Sinon, qu'advient-il de toutes ses réserves, des installations afférentes, de leur valeur, si une législation parvient à arrêter l'extraction, comme elle le promet ? Si elles échouent, cela s'appelle, en comptabilité, un échouage d'actifs. Car, il s'agit bien d'actifs, valorisés dans les comptes des entreprises. Malgré leur valeur technique, ils perdent toute valeur comptable car devenues inutilisables, doivent être retirés des actifs du bilan, et inscrits en pure perte sur les comptes d'exploitation.

Cette perte correspond à la valeur résiduelle de l'actif considéré, dépréciée selon son âge et les règles comptables. Objet d'une abondante littérature, on connaît mal l'état de dépréciation des actifs carbonés de l'industrie pétrolière, gazière ou charbonnière. Au niveau de l'extraction, TotalEnergies enseigne que la durée de vie d'un gisement peut se prolonger au-delà de 50 ans, ou ne durer que 5 à 10 ans en mer [PLA 15]. Firdhaus et Mauri [FIR 23], se penchant sur les risques d'échouage encourus lors des décisions d'investissement, ont analysé de façon globale, la littérature concernée, 264 citations selon Scopus. Ils concluent que le risque lié aux actifs échoués incite en effet les intéressés à favoriser les énergies propres, tout en se montrant prudent sur les risques inhérents à la transition, en particulier celle de la sécurité d'approvisionnement. En revanche, on connaît bien les décisions présentes d'investissement [IEA 24]. Elles se montent à plus d'un milliard de dollars en 2023 pour les énergies carbonées et 1,75 pour les énergies propres. On le verra, malgré les apparences, cela se traduit par un retard de conversion, grandissant. Ici, nous nous adressons à la source, au moment des décisions d'aujourd'hui.

Selon les normes comptables internationales, on peut, sous réserve d'une estimation fiable, comptabiliser au passif des obligations avérées et qu'il est probable qu'une sortie de ressources représentatives d'avantages économiques sera nécessaire pour les régler [IFR 01] [DALL 24]. C'est ainsi que l'EDF comptabilise les sorties futures dues à ses engagements physiques concernant le démantèlement des installations nucléaires et le stockage de longue durée des déchets radioactifs [EDF 23]. Aujourd'hui, la qualification de provision ne peut s'appliquer aux dépenses d'investissement, car elles ne sont pas obligatoires.

L'innovation de cet article montre comment techniquement qualifier de Provision un investissement auquel on peut donner le caractère obligatoire par le truchement d'un lien comptable et physique (thermodynamique) avec les actifs « carbonés » que la communauté veut remplacer. Elle montre qu'on peut décarboner en amont, au niveau de la prise de décision, le bon endroit pour étancher à coup sûr une fuite, évitant ainsi le retard récurrent de l'heure de la transition [FRES 24]. Elle évite aux entreprises le coût de mise à la perte des actifs carbonés de leur comptabilité, le jour où la pression climatique, migratoire et sociale sera telle que les autorités seront bien contraintes d'en interdire l'usage. On montrera que, financièrement, l'opération est, au minimum, blanche dès 2030 avec un taux d'actualisation de 3,8% par rapport à un échouage, et profitable par rapport au même échouage, dès qu'on inclue un investissement carboné associé, et que c'est possible de montrer l'exemple de l'efficacité d'une décarbonation « en amont » ; au niveau des décisions d'investissement.

Les instances concernées par notre invention, aussi bien en gouvernance de la comptabilité internationale qu'en ce qui concerne les normes des produits commercialisés et des émissions toxiques existent, sans besoin de modifier le système économique et politique. On propose ainsi un cheminement de notre invention et de notre publication auprès de celles-ci pour semer les graines d'une réglementation exécutoire adaptée à une nouvelle technique de décarbonation : en amont.

Nous construirons notre débat ainsi :

Que peut-on tirer de l'histoire récente qui peut expliquer le graphique de la figure 1 ?

Nous prendrons une mesure du risque d'échouage à l'échelle des opérations pétrolières et gazières, pour assoir et décrire le concept de la Provision. Nous dépeindrons alors le terreau, dans lequel nous

devrons planter une approche « en amont » : des technologies avides de financement, et quelques précédents récents qui peuvent inspirer des essais en vraie grandeur dès à présent.

Si l'approche existe déjà, dans l'énergie nucléaire en particulier, nous sommes encore loin de son adoption, aussi, nous aborderons des éléments clés pour son succès : son efficacité économique et comptable pour les parties prenantes, et en quoi elle peut atténuer, sinon éviter les embuches de notre histoire récentes. Nous finirons par une énumération coordonnée des instances à consulter et, éventuellement convaincre, pour construire avec elles une feuille de route de mise en application. La route sera malgré tout longue... mais moins que de « laisser faire ».

2. L'histoire récente

Tout se passe comme si l'accumulation de réserves carbonées était un besoin essentiel, sans l'assurance de solutions alternatives. Elles apparaissent « existentielles » envers même les risques climatiques. Une analyse des prix des produits pétroliers passés et de leurs dérivés essentiels confortent cette hypothèse. Ainsi, dans la figure 2, l'évolution conjuguée des prix du pétrole, et de l'ammoniac – cœur des fertilisant – reflète bien l'anxiété de manquer des viatiques des économies et de l'agriculture en période de crise. L'un des auteurs du présent article, analyste au sein d'un centre de coordination d'un opérateur pétrolier en 1973 a vécu la flambée des prix d'alors. Surtout, il a eu l'occasion de dénicher la cargaison de pétrole impossible, évitant le black-out à une semaine près du Danemark. Depuis, ce pays est devenu leader mondial de l'énergie éolienne. Sa ressource garantie est devenue le

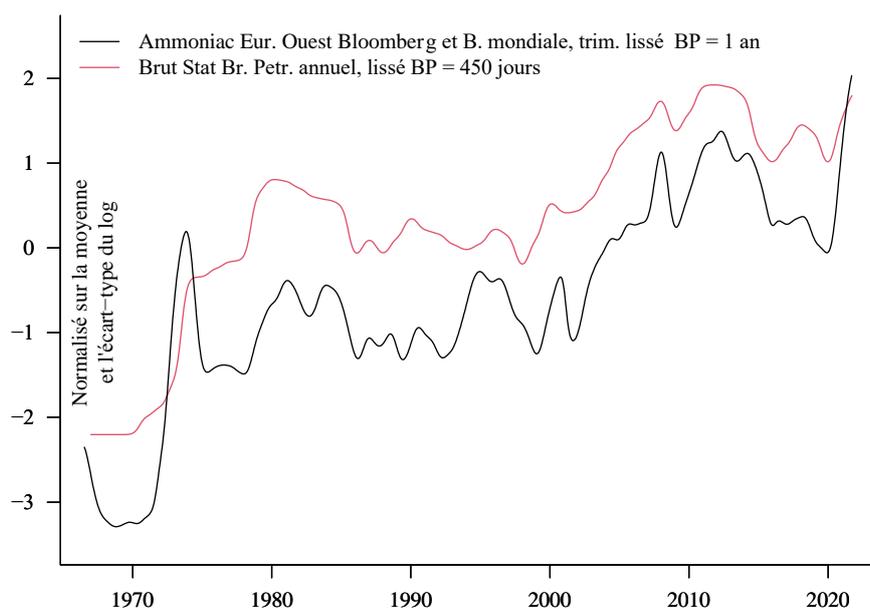


Figure 2 Le prix de l'ammoniac dans la foulée du prix du brut
[BLO 22, BP 20, ENE 22, SHE 77]

vent.

L'ammoniac a emboîté le pas, avec de plus amples fluctuations, entraînant dans la foulée plus amplement les prix du blé.

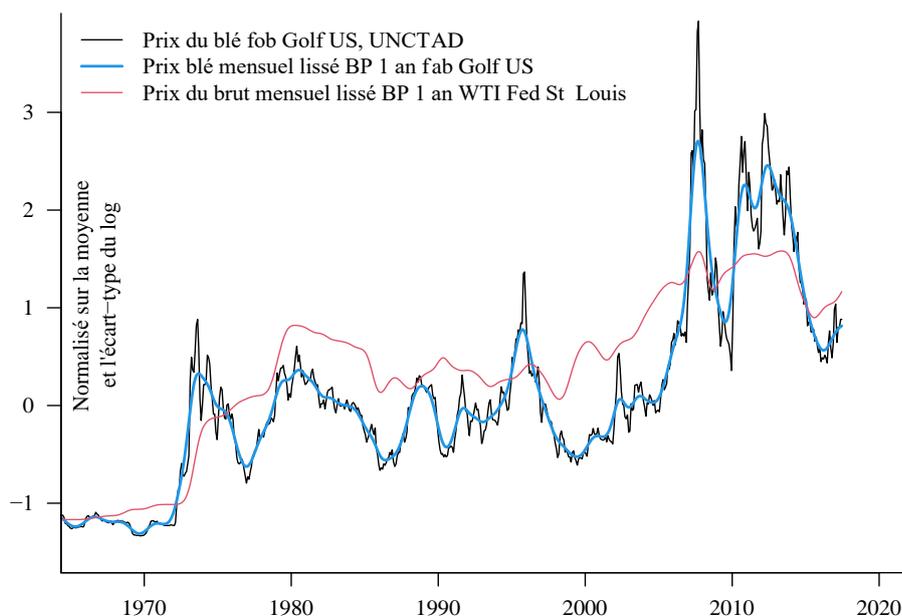


Figure 3 La valse des prix du pétrole amplifiée sur le blé
[FRE 22, UNC 22]

La nervosité internationale, manifeste sur ces denrées, s'est encore affichée sur les prix du gaz, peu avant l'invasion de l'Ukraine, grenier à blé s'il en est. Si la sécurité énergétique et alimentaire constitue la priorité des nations, le pétrole et le gaz seront jalousement convoités et protégés. Le pétrole et le gaz sont des denrées énergétiques uniques pour faire la guerre, se défendre. L'ammoniac, pour obtenir les rendements – à peine – nécessaires de l'agriculture pour nourrir la population mondiale. On ne peut

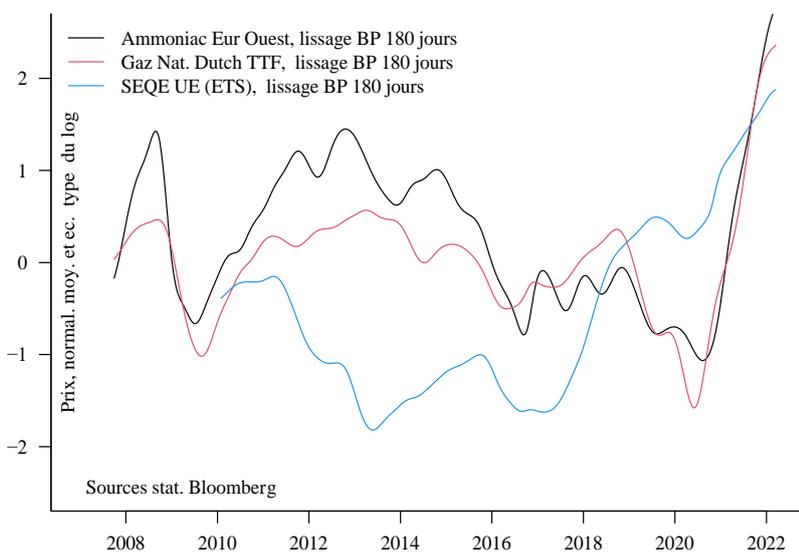


Figure 4 Le système d'échange des quota d'émission ne se solidarise pas avec les prix pétroliers et gaziers
[BLO 22]

rêver d'assurer une transition énergétique efficace sans assurer la relève pétrolière et gazière en même temps. Notre manque d'appréciation est illustré par la déconnexion entre le système d'échange de quota d'émissions (SEQUE) et la réalité stratégique : les prix du SEQUE n'ont que peu de rapport avec ceux de l'énergie et des fertilisants¹.

¹ Les investisseurs tiennent compte des incertitudes des marchés futurs. Dans le cas présent ils font face à une double incertitude, qui n'encourage pas les décisions d'investissements en énergies propres, et conduisent certains à préconiser un prix de carbone plancher fixe [OHL 22, ZHO 24].

Et pourtant, le potentiel de substitut crédible existe bien, et certains pays comme la Belgique ne s'y sont pas trompés[DEM 21]. Ainsi, la Belgique prépare une chaîne d'alimentation en ammoniac « vert ». La route sera longue, mais l'avantage stratégique d'innovations majeures dans la fabrication d'ammoniac est considérable. L'ammoniac peut se brûler dans un moteur sans autre émission que de l'eau et de l'azote. Il y a bien d'autres options, il faut y mettre les moyens. Une réglementation obligeant la communauté internationale, en particulier les opérateurs pétroliers et gaziers à financer sérieusement une substitution rapide doit faire partie de la panoplie. La communauté financière internationale devra les aider.

En effet, un autre « problème », on y reviendra, c'est qu'un forage dans le sol est fort économique, comparé à d'autres investissements de production d'énergie. Mais dans l'immédiat, après examen des besoins vus par l'Agence Internationale de l'Energie, abordons le risque d'échouage si, d'aventure, la communauté internationale mettait un terme à l'extraction de pétrole, comme elle le promet.

L'agence Internationale de l'Energie a communiqué des visions de net-zéro possibles par la publication de scénarios et de distributions des technologies d'une grande variété[IEA 23a]. A cette fin, elle utilise un modèle d'optimisation[IEA 23]. Ses projections, basées sur STEPS (*Stated Policies Scenario*, reflétant les politiques déclarées des nations) ont annoncé en 2021 un plateau de production de produits carbonés pour les années 2030, suivi d'une chute légère en 2050. Un peu moins pessimiste en 2023 elles annoncent le pic avant 2030, avec cependant un doute marqué mettant en cause la possibilité d'atteindre les buts climatiques. Leur modèle est celui d'une optimisation en principe linéaire, toutefois abondamment calibrée grâce aux apports de nombreux experts. Les systèmes à la base s'appellent VENSIM[VEN 24] et TIMES[LOU 21], fondamentalement linéaires optimisant les coûts en valeur actualisée. Il manque, à notre avis, un modèle peut-être moins détaillé et complexe, mais plus proche de la réalité inertielle de notre histoire, étalonnée dessus. Il existe à ce jour des modèles non linéaires, dépendant du temps, qui prennent en compte fondamentalement les inerties. Celles que peuvent constituer les mises en place de financements colossaux, et, au moins, refléter la disparité entre coûts capitalisables et opérationnels des diverses technologies. Si l'AIE ne donne pas de message inutilement optimiste à ce jour, on peut cependant regretter qu'elle ne contribue pas un outil dynamique plus avancé capable de mettre les parties prenantes devant un véritable Monopoly [Crédits : (**) Olivier Vidal] et leur responsabilité. Les modélisations contenant un aspect inertiel important sont probablement abordables avec des ressources nouvelles et variées[BAG 20, CAO19] et doivent également prendre en compte l'inertie et la disponibilité des ressources en matières premières[VID 18]. Un tel outil pourrait signaler les zones d'urgence financières, que l'on évoquera plus loin, peut-être faire réaliser qu'une approche « en amont » telle la Provision que nous proposons est une nécessité existentielle. Il pourra améliorer la confiance des investisseurs qui y auront accès.

Surtout l'Agence Internationale de l'Energie estime l'investissement nécessaire au scénario « net-zéro émission » à l'horizon 2050 à 4 Téra dollars par an, et que nous en sommes encore bien loin[IEAW 24].

3. Risques d'échouage

Chaque année, comme toute autre entreprise, les entreprises pétrolières engagent des investissements, en particulier pour agrandir et/ou remplacer leurs réacteurs et équipements de forages vieillissants. Elles entreprennent des nouvelles recherches pétrolières pour remplacer les gisements qui s'épuisent et constituer des réserves exploitables pour assurer leur avenir, rassurer leurs investisseurs et les nations partenaires. Ces dépenses se comptabilisent, en particulier dans le bilan, sous forme d'un actif. Un équipement ainsi comptabilisé est une richesse. Mais celle-ci se déprécie avec le temps à mesure qu'elle vieillit. En comptabilité, on reconnaît cette dépréciation, et on convient en général qu'elle s'éteint au bout de vingt ans. Aussi, on ne facture la dépense dans le compte d'exploitation que

par morceau, d'année en année pendant vingt ans. C'est le compte d'exploitation (également appelé compte de résultats) qui exprime le profit, permet la rémunération des actionnaires, le remboursement des prêts, les salaires, les achats de matières premières et l'impôt. Si une réglementation s'impose sans les vingt ans de préavis, pour interdire l'extraction de produits pétroliers, inévitablement une partie de ces actifs perdront toute valeur, car inopérables. Cela constituera une perte sur le compte de résultats, anticipant les années non utilisées. Vu l'ampleur des engagements, sans-doute associés aux réserves assurées dans la figure 1, l'industrie ne se prépare pas à un tel choc, loin de là. Ceci peut expliquer la timidité de l'engagement de la COP 28 en 2023 à Dubaï.

L'annexe jointe (2) donne un éclairage sur le comportement diversifié des opérateurs. En rapportant leur production annuelle à leur réserve confirmée, on peut exprimer leur durée de production possible, en l'état. C'est long, certainement bien au-delà de l'horizon 2050. Cependant, certaines entreprises comme TotalEnergies, manifestent ainsi un engagement pétrolier beaucoup plus modeste. Aussi, nous l'avons pris comme exemple pour mesurer quel pourrait être l'impact d'un échouage sur leur comptabilité, sans doute moins sensible que d'autres. Ce travail est facilité grâce à la qualité et aux détails fournis par les bilans annuels de TotalEnergies. Le tableau 1 est extrait de trois ans de leur compte de résultats. Le résultat moyen de trois ans – qui comptait une année de COVID, est d'un peu plus de 12 milliards de dollars, avant impôt sur les bénéfices.

M \$	2021	2020	2019
Chiffre d'affaire	205 863	140 685	200 316
Charges exploit.	-180 895	-146 972	-183 035
<i>dont accises/royalties</i>	-21 229	-20 961	-24 067
Résultat opérat.	24 968	-6 287	17 281
Autres revenus/charges	-1 005	731	-29
Résultats avant impôts	25 973	-7 018	17 310
Impôts	-9 587	-318	-5 872
Résultat Net	16 366	-7 336	11 438

Tableau 1 Extrait des comptes de résultats de TotalEnergies (Millions de \$ US)
[TOT 24]

Portons-nous maintenant sur un extrait de leur bilan (Tableau 2). Il est possible d'estimer, de l'extérieur, l'ordre de grandeur de ce qui y est consacré à la production « carbonée ». Par exemple les stocks sont sans doute majoritairement du brut, des produits pétroliers finis, en transit ou dans les raffineries. Pour faire simple, attribuons les stocks aux produits pétroliers. Parmi les actifs incorporels, au moins les intérêts miniers prouvés sont en majorité carbonés. Parmi les équipements, on a qualifié de « carbonés » ceux qui concernent l'exploration et la production. Le total de ces trois éléments se monte à une moyenne de 111 Milliards de dollars sur les trois ans notés.

M\$	2021	2020	2019
Actifs courants			
Inventaire, stock, brut	19 952	14 730	17 132
Actifs incorporels	32 484	33 528	33 178
Intérêts miniers prouvés	7 652	6 964	7 225
Intérêts miniers non prouvés	13 806	15 510	15 580
Goodwill, etc.	10 426	11 054	10 373
Total intérêts miniers	21 458	22 474	22 805
<i>Miniers prouvés</i>	7 652	6 964	7 225
Terrains, constructions équipement	106 559	108 335	116 408
<i>Exploration/ Production</i>	82 042	83 700	93 296
Actifs nets Carbonés prouvés	109 646	105 394	117 653

Tableau 2 Extrait des bilans de TotalEnergies (Millions de \$ US)
[TOT 24]

La comptabilisation en perte de tels actifs - s'il advenait une interdiction brutale - représente à peu près 9 fois le résultat avant impôts du compte de résultats d'origine. De leur côté, Trout et al. [TRO 22] estiment que 40 % des réserves seraient échouables, si l'on s'en tient à la limite de 1,5°C du GIEC. Cela correspond, sur notre graphique de la figure (1), à l'écart entre les deux lignes pointillées : pour passer au niveau de 1,5°C, il faudrait déjà échouer une proportion de plus de (1000-500)/1000 des actifs carbonés, soit 50%. L'annexe (3) détaille à quoi correspond l'analyse de Trout et al. [TRO 22], la compare à la nôtre et illustre un cas de décision récente qui aurait pu se trouver différente avec une obligation de Provision.

Un échouage peut ainsi être représenté par 40% de la moyenne de trois ans des actifs carbonés du Tableau 2. Il se monte à 44359 M\$, quatre fois le résultat opérationnel. Un tel échouage est peut-être gérable en quatre ans, sans-doute six si on y consacre 60% du résultat opérationnel avant imputation de la perte. Aussi, dira-t-on, on donnera du temps, six ans à l'industrie pour absorber la perte... C'est peut-être possible pour TotalEnergies, où les annexes (1) et (2) illustrent que le groupe pétrolier est bien placé par rapport à ses concurrents. Ses engagements carbonés sont modestes par rapport à sa production. Ce n'est pas le cas pour d'autres pétroliers, où les engagements dans les réserves sont bien plus vastes. Et les émissions vont continuer lors de cette progression, à l'instar de la déclaration de la COP 28... « le début de la fin ». Où sera la promesse « net zéro » ? Qu'en a dit l'Agence Internationale de l'Energie ?

Il faut démarrer maintenant pour éviter l'échouage, éviter de dépasser complètement les limites climatiques tolérables, financer la transition à une autre échelle comme le calcule l'Agence Internationale de l'Energie, et dès à présent, récupérer des formes viables de sécurité alimentaire, énergétique et territoriale. Si l'on ne peut changer notre histoire, il faut changer notre approche pour en atténuer les séquelles.

4. Décarboner en amont : la provision

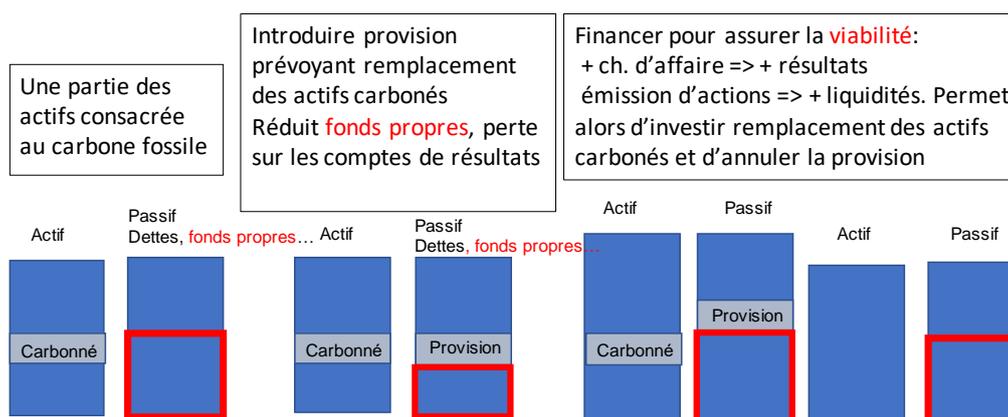


Figure 5. Provision égale à la valeur de l'actif-carbone à remplace
[VAL 19]

La Provision est une écriture comptable établie [DALL 24] qui permet d'anticiper une dépense future en l'inscrivant dès à présent au passif du bilan comptable, en perte au compte de résultat. Il faudra donc prévoir en contrepartie son financement. La figure 5 illustre d'abord la constitution de la provision proposée. Les paires de barres représentent l'actif (à gauche), et le passif (à droite).

Sur la première paire, au sein de l'actif, avant la mise en place de la Provision, on montre (en gris), la part « carbonée » que nous venons d'estimer dans le bilan de TotalEnergies. L'encadré rouge représente les « fonds propres » qui incluent le financement apporté par les actionnaires (les actions) et le profit conservé sur l'année précédente, après distribution des dividendes.

La deuxième paire montre l'introduction d'une provision, que l'on veut égale à l'actif carboné, inscrite au passif, car c'est une dette ; cela signifie qu'il faudra bien remplacer les actifs carbonés. Comme les autres dettes du passif sont inchangées, alors que le bilan doit conserver son équilibre, les fonds propres (rouge) ne peuvent que diminuer. Le profit à reporter est ainsi affecté par l'inscription la perte consécutive maintenant inscrite aux comptes de résultats. Il faudra financer cette provision pour assurer la viabilité de l'entreprise, soit par une augmentation de prix apportant des liquidités dans l'actif, qui se traduira par une récupération de la rentabilité, soit par un apport de capital, apportant des liquidités par les fonds propres.

La troisième paire illustre cette récupération. Dans la dernière paire, on a investi en énergies propres la valeur de la provision, en remplacement des actifs carbonés ; la provision disparaît en proportion des actifs carbonés que l'on aura choisi de ne pas investir/rénover, comme chaque année. A terme, il ne restera plus de provision, ce qui correspond à la dernière paire. Au lieu d'avoir à financer un échouage, opération improductive s'il en est, on aura créé une obligation d'un remplacement progressif productif, qu'il y aura bien sur lieu d'identifier et de financer. En revanche, ce financement contribuera à diminuer la Provision selon l'invention et son pourcentage, comme si la perte d'échouage évitée était diminuée d'autant.

Par son caractère obligatoire, la Provision couple l'investissement énergétique avec l'extinction accélérée des investissements carbonés. Cela ne diminue pas l'effort financier nécessaire à la transition, mais diminue le risque financier de l'échouage au niveau macroéconomique. Une convention internationale devra institutionaliser son obligation et par là-même, son attribution comptable de « Provision » ; elle devra inclure les modalités de son calcul. Elle établira ainsi de façon équitable (« fair » pour les anglosaxons) la proportion des actifs carbonés susceptibles de générer la

provision. En effet, les actifs « carbonés » ne produisent pas que du carbone polluant. Les hydrocarbures contiennent aussi de l'hydrogène, dont la combustion n'est pas polluante. Dans l'annexe (3) et dans une publication antérieure [VAL 19], nous proposons une valeur calculée sur l'apport énergétique du carbone dans la capacité énergétique du gaz naturel (le méthane). La feuille de route, proposée en fin de cet article, aura pour objet de stimuler les instances concernées à prendre en considération notre proposition. On reparlera plus loin d'exemples de source de financement, sachant que la procédure proposée pourra intéresser les investisseurs institutionnels et privés, par son caractère contraignant vers les énergies renouvelables. Elle pourra aussi venir en soutien de systèmes mis en place pour favoriser le début de technologie nouvelle, comme l'éligibilité aux tarifs verts.

5. Un contexte favorable à un changement majeur

5.1 Des technologies sans carbone avides de financement

Certaines technologies qui nécessitent parfois des efforts de recherche et de développement, ont le potentiel de l'échelle requise par une transition existentielle.

C'est le cas de la décomposition directe du méthane illustrée dans l'annexe C, qui fonctionne déjà industriellement à petite échelle pour la production de noir de carbone pour l'industrie du pneumatique. De l'hydrogène, un vecteur énergétique privilégié, est produit. Le procédé est commercialisé, entre autres, par [MON 24]. Pour une production à l'échelle de besoins énergétiques, il faut disposer du carbone, en très grande quantité, en génie civil, par exemple. Nous avons une proposition de projet à cette fin, communicable.

Toute une gamme d'électrochimie verte attend le financement de son développement. La fabrication d'engrais azotés à partir d'hydrogène vert est disponible. La fabrication de l'ammoniac, vieux procédé mangeur de capital, bénéficierait aussi d'un processus moderne, en continu et pourrait même se contenter de l'hydrogène constitutif de l'eau [LI 24]. Le captage du carbone et son stockage géologique sont opérationnels, mais pas à l'échelle requise. Associé à l'hydrogène produit sans émission de carbone, comme l'électrolyse issue du nucléaire, le CO₂ capté produit un gaz de synthèse avide de développement.

Quant au nucléaire, sa contribution déjà attendue à la transition nécessite un déblocage et une accélération des investissements [IAE 24]. Elle pourra bénéficier de déblocages stimulés par la Provision instaurée au sein de l'industrie carbonée.

5.2 Des précédents inspirants : séduction, durabilité, horizons intergénérationnels

Des investisseurs se sont résolument engagés dans la transition, aussi bien dans l'utilisation que dans la production des énergies propres. Ainsi, séduits par la technologie des nouveaux véhicules électriques, ils n'ont pas hésité à acquérir les actions émises à grande échelle par Tesla pour construire l'usine de son Model 3, projet précis, auxquels les investisseurs ont pu s'identifier [LAM 16]. Cette opération n'a (donc ?) pas entraîné de baisse de la valeur du titre en bourse. Anticipateur notoire, Ørsted, le pétrolier danois converti en leader éolien a levé des fonds propres en s'associant à la Caisse de Dépôts et de Placements du Québec (CDPQ) et à Cathay PE, gestionnaire d'investissement, pour implanter un parc éolien offshore à Grand Changhua (Taiwan) [ORS 20]. La CPDQ est le deuxième fonds de pension en importance au Canada ; l'abandon des investissements carbonés fait partie de leur politique.

D'un côté des entreprises à très hautes technologies très palpables saisissent la transition comme une opportunité ; on aimerait trouver un Tesla dans le graal de la chimie, l'ammoniac vert, c'est possible, mais comment vendre au public des équations chimiques ? Des institutionnels ont en revanche compris l'intérêt à long terme et pourraient à nouveau être attirés par des options dont ils se sont éloignés.

5.3 Des opportunités d'expérimentation

Les joint-ventures sont de pratique courante, associant des opérateurs impliquant du carbone d'origine fossile, avec des énergies nouvelles. Tout partenaire endetté par la provision calculée sur ses actifs carbonés peut s'en acquitter en proportion à sa participation aux investissements contributifs de façon essentielle à la production d'énergie non carbonée du projet commun d'une joint-venture. L'expérimentation consiste à comparer l'attractivité financière des décisions d'investissement selon qu'elle aurait été prise dans le cadre de notre Provision ou non (% retour sur investissement). On comparera en même temps l'efficacité énergétique de l'investissement, avec celle des concurrents comparables dans l'art des énergies propres (€/kW). On comparera également les coûts opératoires des options alternatives, carbonées, peu carbonées ou non.

Ainsi, Dogger Bank, la ferme éolienne offshore la plus vaste du monde, est une joint-venture entre SSE Renewables², Equinor³, et Vårgrønn⁴ où un pétrolier (Equinor) s'associe avec des opérateurs d'énergie verte, et auquel s'est joint plus récemment ENI [DOG 23]. La valeur de la venture figure habituellement au sein du bilan de chaque partenaire sous forme regroupée avec ses autres ventures, en une seule ligne et en proportion de leur participation [EQU 24]. Il est clair que l'opportunité de la joint-venture aurait aidé Equinor à s'acquitter d'une partie de la provision dont elle serait redevable, si une telle législation existait déjà. Le projet serait-il plus ambitieux, ou la part d'Equinor plus grande, si elle avait inclus sa part de provision (un passif) dans l'accord de partenariat, quitte à stimuler une source supplémentaire de financement, même des émissions d'action associées au projet proprement-dit ? On aimerait tester les réactions des parties prenantes, et partager ce débat autour d'autres potentiels de joint-venture, qui ne manquent pas dans le pourtour de la Mer du Nord. On peut aussi simuler des partenariats stimulés par la Provision auxquels pourraient être associés des partenaires carbonés.

Dunkerque constitue un pôle de premier choix [POL 24]. Il inclut ArcelorMittal, producteur d'acier qui cherche à se décarboner et des producteurs d'énergie sans carbone qui cherchent à se développer, nucléaires et éoliens ; la Communauté Urbaine de Dunkerque est ambitieuse en la matière [DKA 24]. La provision peut-elle nourrir son ambition ? Moins de carbone d'origine fossile pour plus de nucléaire et de vent ?

D'autres pôles autour de la Mer du Nord s'y prêtent. North Sea Windpower Hub⁵ [NSW 24] qui collecte et achemine l'électricité offshore, comporte de multiples opportunités alimentées par l'électricité éolienne. Acorn⁶ [STO 24], à Aberdeen a le potentiel de relier des industries carbonées écossaises au potentiel d'enfouissement des champs gaziers épuisés. North Sea Port Hub [NOR 24] basé à Gand/Terneuzen, importe et redistribue des productions stratégiquement liées au carbone fossile, en particuliers les céréales, et, par le truchement des engrais, de l'ammoniac, lequel sera un future « transporteur » d'hydrogène vert, carbonées concurrentes. On aura ainsi une mesure de son efficacité d'investissement du point de vue de la décarbonation.

6. Facteurs de succès

Si l'intérêt d'une Provision de remplacement des énergies carbonées dépend de l'efficacité des investissements qu'elle stimule et d'une attractivité financière acceptable pour les investisseurs, d'autres facteurs sont tout aussi critiques : où trouver tous les fonds nécessaires et à quel prix ? (suffisance, coûts). Attireront-ils les investisseurs de façon systémique ?

² SSE Renewables Limited est une entreprise écossaise de production d'énergies renouvelables, filiale du groupe SSE, également opérateur d'un des plus grands réseaux électriques Britannique, via sa filiale SSEN

³ Equinor est le groupe pétrolier détenu en majorité par l'Etat Norvégien.

⁴ Vårgrønn est une joint-venture entre le groupe pétro-gazier Italien Plenitude (EnI) et Hitec Vision, gestionnaire d'investissement Norvégien, focalisé sur la transition

⁵ North Sea Windpower Hub est un consortium Néerlandais et Allemand de transporteurs d'énergie, mettant en commun leurs moyens pour le transport de l'énergie éolienne de la Mer du Nord

⁶ Acorn est une joint-venture entre Storrega, spécialisé dans le stockage de CO₂, Shell UK et d'autres intéressés par l'espace de stockage potentiel des champs gaziers et pétrolier épuisés.

6.1 Efficacité

Comment le rapport entre l'investissement (Capital expense, CAPEX) non-carboné et la capacité énergétique qu'il permet (CAPEX \$/kW) se comparent-ils aux carbonés ? Quelle capacité énergétique non carbonée 1€ ou 1\$ peut-il acheter, comparé à celle qu'il remplace ? Que protège la Provision, quelle est la part du potentiel énergétique carboné ?

Remplacer du capital carboné par du capital « non-carboné » peut se faire sur un livre de compte, euro pour euro., dollar pour dollar. Mais, on ne retrouvera pas ce résultat en énergie non carbonée. Le processus, financièrement parlant, pour efficace soit-il vu son caractère contraignant, ne pourra être efficace à 100%, vu les bas coûts d'investissement des énergies carbonées comparées aux autres. Bien sûr, les coûts opérationnels peuvent améliorer la comparaison, ainsi, le vent est une contribution gratuite au coût opérationnel. Le tableau 3 donne un ordre de grandeur de la capacité énergétique que peut commissionner (construire) un dollar.

US\$/kW CAPEX/Capacité	Portion pétrolière	Fournitures pétrolières inclus
Un investissement pétrolier (1)	253	253
Actifs carbonés	590	590
Turbine à gaz à cycle combiné (2)	1 000	1 590
H ₂ via reformage de gaz naturel (3)	910	1 500
H ₂ via reformage avec CCS (3)	1 360	1950
Eolien à terre (2)	0	1 590
Eolien au large (2)	0	3 040
Nucléaire (2)	0	6 600
(1) TotalEnergies Lapa-Southwest [TOT 23]		
(2) World Energy Outlook 2022 p 469 [IEA 22]		
(3) The future of hydrogen [IEA 19]		
<i>[Italique par addition, rendement et transport exclu]</i>		

Tableau 3 Coûts de capacités productives d'énergie

La première ligne, 253 \$/kW, est vraisemblablement un « Overnight CAPEX », c'est-à-dire un investissement ponctuel, de 1 B\$ (B = milliard) annoncé par TotalEnergies pour un nouveau champ off-shore brésilien, d'une production prévue de 60 000 bl/jour. Cette production, par jour, est, en effet une capacité convertible en kW, à la base de la valeur 253 enregistrée ici.

En prenant l'exemple de l'année 2021, année « post-covid », la production de gaz et pétrole publiée pages 48-49 du rapport annuel de TotalEnergies est de 2810 kbep/j (kilobarils-equivalent-pétrole/jour). Elle peut être convertie en tonnes équivalentes, 140 Mégatonnes-équivalent-pétrole (Mtep), soit en valeur énergétique par un facteur $11,6 \cdot 10^3$ GWh/tep (GWh/tonne-équivalent-pétrole) [IEA 20], donc $1628 \cdot 10^9$ GWh puis, en capacité à raison de 8760 heures par an : 185,6 GW, soit 185600 MW. Pour un actif estimé de 109646 M\$ [Tableau 2, rouge, 2021], cela fait 0,59 M\$/MW soit 590 \$/kW (en rouge dans le tableau 3). Des valeurs d'actifs carbonés extrapolées pour ExxonMobil et Aramco figurent en annexe 2. On peut en déduire de la même manière la valeur des actifs en \$/kW. On reste dans les mêmes ordres de grandeur.

Page 469, de *World Energy Outlook* de l'Agence Internationale de l'Energie [IEA 22], on trouve le coût d'investissement pour les turbines à gaz, les éoliennes et le nucléaire. Dans le cas des turbines à gaz, nous avons ajouté la valeur de l'actif 590 \$/kW qui doit l'alimenter en gaz ! On accède à des valeurs pour la production d'hydrogène à partir d'une autre source : *The Future of Hydrogene*

également publiée par l'Agence Internationale de l'Energie [IEA 19]. Le transport et le rendement sont exclus, mais il est clair que l'investissement pétrolier ou gazier est fort économique, et nécessite bien moins de capitaux que les alternatives. On a longtemps évoqué l'épuisement proche des ressources pétrolières. Ce n'est plus à l'ordre du jour dans les sites spécialisés, IEA ou EIA ; seules une baisse de la demande (on l'espère !) la précèdera, ou des considérations de prix prise par l'OPEC pourra restreindre la demande. L'augmentation des ressources Américaines, ont, semble-t-il changé la donne, peut-être autant que les perspectives de la transition [IEA 23c]. Cependant, un rationnement de source géopolitique est certainement possible, comme celui qui a lancé le Danemark dans l'éolien. L'écart entre les options diminuera certainement, à l'instar de l'éolien danois, devenu tout-à-fait compétitif sur terre. On y arrivera. Ici, notre propos est d'y arriver à temps, face aux tourmentes sociales et économiques liées au budget carbone que nous avons dépassé. Pour cette raison, trois remarques s'imposent :

- Un investisseur pétrolier déclare investir en énergies renouvelables 30% de l'enveloppe financière disponible (\$ ou €) [CHA 22]. Ce choix est loin d'impliquer une proportion de 30% de capacité en puissance énergétique (kW). Il faudra générer la disponibilité financière ailleurs que dans la production et la vente de produits pétroliers, si on veut éviter de continuer à saturer le budget carbone.
- La masse de capitaux à attirer dans une économie décarbonée sera bien plus considérable qu'aujourd'hui.
- En conséquence, la rémunération de l'actionariat public ou privé devra être considérablement augmentée, en valeur absolue, si on veut conserver des taux compétitifs.

5.2 Suffisance

M\$	2021	2020	2019
Actifs nets carbonés prouvés M \$ US	109 646	105 394	117 653
Dépenses d'investissement (CAPEX)	12 343	10 764	11 810
Une provision calée sur 56% des actifs carbonés	61 402	59 021	65 886

Tableau 4 Investissements comparés (Millions de \$ US)

[TOT 24, VAL 19]

La première ligne du tableau 4 reprend les actifs carbonés prouvés du tableau 2. Pour la deuxième, les dépenses d'investissements sont extraites des rapports annuels de TotalEnergies. 56% des actifs carbonés pourrait constituer une valeur équitable de leur remplacement par des énergies propres, compte tenu de la proportion d'énergie disponible contenue dans les produit pétrolier grâce au carbone (annexe 3)[VAL 19].

On constate que le niveau d'investissement actuel est loin du compte pour assurer le remplacement des actifs carbonés par des investissements propres, selon notre méthode. Cela n'est guère surprenant : les investissements sont à hauteur d'environ 10% des actifs, pratique courante, et logique quand il s'agit de renouveler un parc qui se déprécie en vingt ans. De plus, d'après le tableau 3, il faut près de 3 fois plus de capital pour accéder à l'électricité, au niveau des fournisseurs d'énergie, qu'il s'agisse de turbine à gaz à cycle combiné (énergie carbonée) ou d'électricité éolienne terrestre, 1590/590. Et 10 fois plus pour passer au nucléaire.

Plaçons l'analyse dans le contexte pétro-gazier mondial. Ainsi, selon [WAN 22] il est proposé un renforcement à long terme des actifs pétroliers et gaziers, pour la sécurité énergétique, avec des recommandations pour la coopération pétrolière et gazière internationale : pétrole et gaz de qualité à terme, évitement des lieux chaotiques, collaboration intégrée dans la chaîne de l'industrie pétrolière et gazière et augmentation de l'acquisition d'actifs à grande échelle de haute qualité. Il ne s'agit pas d'une voie non carbonée, mais cela reflète les tendances internationales influentes, étayées par les chiffres de Deloitte [DEL 23] selon lesquels les investissements mondiaux dans le secteur hydrocarbure amont, devrait maintenir leur niveau d'environ 580 G\$ de 2023. En utilisant les facteurs de conversion appropriés et les données des statistiques de l'industrie pétrolière [ENE 22], la capacité mondiale utilisée par les opérateurs gaziers et pétroliers en 2021 est de 10187 GW. Ainsi, l'investissement global engagé est de 580/10187 \$/W, soit 57 \$/kW. En ce qui concerne TotalEnergies, dont la capacité de production a été estimée plus haut à 185,6 GW, consacrant 70% de son investissement aux produits pétroliers [CHA 22], l'investissement pétrolier revient à 47 \$/kW, même ordre de grandeur.

Résumons : la provision encouragerait dès la première année un investissement 5 fois supérieur à l'engagement d'investissement présent (Tableau 4) ; appliquée au monde, cela ferait prêt de 3 T\$/an au moins au début (0,580 x 5). L'Agence Internationale de l'Energie estime qu'un rythme de 4,5 T\$/an est nécessaire en 2030 pour l'objectif « Net Zero Emission » en 2050 [IEA 24]. A ce jour, on n'en est qu'à 1,8 T\$/an.

Notre proposition serait-elle suffisante ? En principe, oui, c'est la bonne échelle.

5.3 Coût

L'Agence Internationale de l'Energie a fait un inventaire des coûts du capital pour les énergies propres. L'outil utilisé est le « WACCS » [IEA 23], Weighted Average Cost of Capital. Cet outil aide à comparer le coût du capital nécessaire pour lancer un projet, au coût du capital qui sous-tend l'entreprise, moyenne pondérée entre les taux des emprunts utilisés, et la capitalisation-même de l'entreprise sur le marché boursier. C'est un pourcentage. A l'instar des coûts actualisés par un taux, utilisés dans les modèles de l'Agence Internationale de l'Energie, c'est un outil de projet individuel, pris dans un contexte existant. Ici, on cherche à changer le contexte, créer une dynamique où l'énergie verte saisit tant l'intérêt des investisseurs, qu'ils devront se détourner massivement de leur investissement présent, pour générer un flux financier à la hauteur des investissements qui en demandent deux à trois fois plus qu'à ce jour.

5.4 Attractivité pour les investisseurs et valeur économique de l'invention

Du point de vue d'un investisseur, les actifs carbonés sont très attractifs. Les investissements sont faibles par rapport à la capacité énergétique fournie. L'insécurité énergétique stratégique garantit le soutien des autorités publiques. Parfois, cela conduit à inverser les priorités, comme aujourd'hui, et comme ce fut le Danemark, au bord du black-out [RÜD14]. Ce pays étend le concept à l'échelle mondiale, nous l'avons vu plus haut avec Ørsted avec ses grands investissements stratégiques à Taiwan en coopération avec un institutionnel intéressé par le long terme. Le champ offshore belge est une autre star, avec un financement basé sur une législation créative [CMS 17] protégeant les initiatives d'investissement et une initiative privée courageuse et réactive [COL 23]. Cela a inclus un dispositif de Certificats Verts avec obligation d'achat pour le gestionnaire du réseau de transport d'une durée de 20 ans à un prix minimum fixe, et un prélèvement sur les prix de transport de l'énergie facturés aux réseaux de distribution.

Nous n'avons pas de réponses toute faites, pour proposer ce qui attirerait la masse de financement nécessaire. La masse monétaire existe, au moins, grâce aux revenus de la chaîne du pétrole qui a canalisé d'amples flux financiers, en particulier vers les pays de l'OPEP. En effet, il est plus facile de recevoir des revenus chaque jour par le simple jeu d'ouverture ou de fermeture des robinets, que de compter sur la sécurité d'investissements lourds. Pour repérer ce qui peut attirer cette masse financière ailleurs, les modèles non linéaires évoqués plus haut sont tentants ; les flux financiers et matières s'engrèneraient dans le temps avec des dynamiques propres. L'énergie nucléaire pourrait servir d'étalonnage pour ces modèles.

Examinons l'impact de notre provision sur l'évolution du bilan d'un opérateur l'année d'un échouage comparé à l'année précédente, sur la valeur des actifs considérés. Considérons la vie de deux investissements : un carboné de valeur 100, et un non carboné de la valeur consentie par les fonds issus de la provision dont on évoquera le financement par après, ici 56, conformément à la formulation technique proposée auparavant.

Le détail figure dans l'annexe 4. Un premier cas décrit l'évolution de la valeur d'un actif carboné de valeur initiale 100 au cours de ses 20 ans de vie : pour faire simple et rester dans l'essentiel, nous adoptons une dépréciation linéaire de 20 ans, donc l'actif s'éteint au bout de ces 20 ans, s'il n'y a pas d'échouage. Nous faisons débuter en 2024. Nous y avons soustrait la valeur de 56, pour faire figurer que la mise en place d'un actif carboné entraîne une obligation de provisionner son remplacement éventuel. Un tel remplacement se fera par des dépenses capitalisables, donc cette valeur sera au registre capitalisable, et la valeur nette de l'actif sera de 44, et amortie linéairement ensemble. En 2030, la valeur nette sera 30,8. Actualisée en 2024 à un taux de 8%, cette valeur devient 18,0. Si l'échouage advient en 2031, la valeur s'annule.

En parallèle, on investit les 56 consentis par la provision en une unité non carbonée. Dépréciée, elle prend la valeur de 39,2 en 2030, actualisée en 2024 à 22,9. En 2031, elle ne sera pas échouée, elle prendra la valeur 36,4, actualisée en 2024 à 19,7. Avant l'échouage, l'avantage de la non-carbonée sur la carbonée sera de 4,9 (22,9-18,0) avant échouage et 19,7 après, soit la même chose en %, car nous étions partis de 100. Si l'échouage survient plus tard, en 2035, l'avantage de la Provision s'amenuise, bien-sûr, mais existe toujours.

Avantage actualisé taux 8% décision	Echouage fin...	
	2030	2035
Avant échouage	+4,9%	+2,1%
Après échouage	+19,7%	+8,2%

Tableau 5 Economies comparées

6. Elaboration collaborative d'une feuille de route

Pour une gouvernance et législation favorables aux investissements, sachant que les systèmes en place sont insuffisants, comment instaurer une gouvernance basée sur la provision, et en particulier, pour qu'elle soit adoptée par les instances veillant sur l'orthodoxie comptable des échanges commerciaux et financiers, sans compter ses impacts fiscaux ?

Les chiffres de nos CDN (Contribution Déterminée au niveau National) ne s'additionnent tout simplement pas [STI 22]. Tout en laissant les systèmes en place continuer à remplir leur mandat, il est impératif de définir en plus un système pour étancher la fuite d'émission, à la source, application concrète de COP 28⁷ qui implique 1,5°C à portée de main. Les CDN sont à la sortie, pas à la source. Une chose qui a fonctionné à tout moment, indépendamment de la guerre ou de la paix, ce sont les flux financiers et l'exactitude des données financières. Inflation variable, peut-être, effondrement monétaire, peut-être, mais le système a toujours assuré l'adaptation, avec une comptabilité claire des échanges ; les flux ont continué à circuler. L'implication des institutions nationales et internationales est nécessaire. En premier lieu, il y a l'organisme fournissant un cadre juridique mondial, l'ONU. Si l'Assemblée Générale le lui demande, elle aura le pouvoir de mandater davantage les institutions qui auront les capacités techniques nécessaires pour mettre en place des outils de contrôle financier. Il n'est pas possible dans ce document d'indiquer comment cela sera fait, mais nous énumérons ici nos pistes. Elles seront abordées utilement après un passage auprès de l'institution qui veille sur la gouvernance de la comptabilité internationale, l'International Financial Reporting Standards Foundation à Londres [IFR 24]

6. 1 Les instances de l'ONU

6.1.1 Pour mettre en place la provision

i) Le Bureau des Affaires Juridiques de l'ONU, (Office of Legal Affairs, OLA). En effet, il y aura d'abord lieu d'établir une juridiction internationale contraignante, une réglementation comptable. L'OLA dispose de l'expertise et de l'accès aux autorités capables de structurer et de proposer un cadre juridique [OLA 24]. Il a réussi à établir la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, à travers la Division des affaires maritimes et du droit de la mer, DALOS [DALO 24]. La Provision fait appel à la notion fondamentale de responsabilité et à sa disposition associée. La responsabilité a des connotations juridiques civiles (comptables) et pénales qui doivent être abordées avec un accord international dans ce cas précis. En effet, nous sommes collectivement responsables de la situation dans laquelle nous nous trouvons actuellement. En tant qu'utilisateurs, nous remplissons nos voitures d'essence et volons grâce au kérosène. En tant que fournisseurs, l'industrie pétrolière et gazière nous aide à atteindre ce résultat. L'un des procédés de fabrication le plus émetteur de CO₂ est l'ammoniac en raison de son utilisation de gaz naturel comme matière première. L'expansion de la population mondiale de 1,6 milliard de personnes en 1900 à 6 milliards aujourd'hui n'aurait pas été possible sans la synthèse de l'ammoniac [SMI 01]. Cela plonge dans les droits de l'homme [ONU 1948], en particulier l'article 3 de la Déclaration universelle des droits de l'homme et l'article 16, le droit à la vie et à fonder une famille, entre autres. Une expertise juridique sera donc nécessaire pour préciser comment une telle

⁷ 915 décisions ont été prises. Le communiqué de presse précise l'une d'entre elles : « une décision sur le premier « bilan mondial » (GST) visant à intensifier l'action climatique avant la fin de la décennie, avec pour objectif principal de maintenir la limite de l'augmentation de la température mondiale de 1,5 °C à portée de main ».

responsabilité partagée peut-être décrite et convenue dans un accord entre les nations, sachant que le bien-être futur et sans doute la survie-même de l'humanité en dépendra. *Nous proposons ici deux volets* :

L'un de justice potentielle : le pétrole, le gaz naturel et le charbon fournissent la richesse de leur énergie. Ils fournissent également le poison du carbone. Nous avons vu qu'une répartition équitable entre la richesse énergétique et le poison du carbone peut être convenue grâce à la contribution de l'énergie du carbone à la richesse énergétique totale d'origine fossile et contenant du carbone. Par conséquent, la responsabilité est limitée au coupable : le carbone d'origine fossile. Nous avons le précédent de Provision dans une industrie énergétique : l'Électricité de France constitue une provision d'environ 60 milliards d'euros pour le coût du démantèlement des installations nucléaires et le stockage de longue durée des déchets radioactifs proche du 1/3 de son passif non courant [EDF 23].

L'autre volet concerne une responsabilité qui ne se mesure pas à l'aune des dommages, mais à celle du coût du remplacement du facteur de risque. Plus simple, il offre également à la communauté une clause d'extension naturelle, lui laissant du temps pour la réparation. La comptabilisation du compte du passif est un moyen d'apporter le changement requis avec précision. L'industrie gazière et pétrolière semble techniquement bien placée pour y parvenir ; elle n'est certainement pas la seule. La communauté des investisseurs privés et institutionnels, le législateur et les institutions de gouvernance accréditée doit l'y aider, et aider toutes les industries désirant participer au processus, par des approches financières partageant équitablement le fardeau financier mondial attendu depuis longtemps. En effet, l'influence du CO₂ anthropique sur le réchauffement climatique est connue depuis 1896 [ARR 96].

Nous pensons qu'OLA serait à la mesure de ces deux volets pour élaborer la proposition du cadre juridique d'une Provision. En effet, par le truchement de DALOS, OLA a joué un rôle instrumental pour la création de l'Autorité Internationale des Fonds Marins [ISA 24], qui pourrait être un modèle pour ce que nous recherchons. En effet, l'Autorité est l'organisation par laquelle les États en tant que parties de la Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer organisent et contrôlent toutes les activités liées aux ressources minérales dans la Zone [hors eaux territoriales et plateau continental] pour le bénéfice de l'humanité dans son ensemble (volet 1). Ce faisant, l'Autorité a pour mandat d'assurer la protection efficace du milieu marin contre les effets nocifs pouvant découler des activités liées aux fonds marins (volet 2). Par le truchement de sa Division du droit commercial international et de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international [CNU 24], OLA dispose des compétences comptables internationales appropriées.

ii) Le Secrétariat de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCCC) sera consultée, plus particulièrement en matière d'échéance climatique [UNF 23a] et en flux financiers engagés à l'occasion des accords climatiques internationaux [UNF 23b]. Nous ne voyons aucune raison pour changer l'action présente de l'UNFCCC tant qu'une « Provision » n'est pas adoptée.

iii) Division ONU à préciser, la nouvelle division ad-hoc, qui s'appuiera, espérons-le, sur notre proposition, sera proposée par DALOS au Secrétaire Général de l'ONU, en réponse à son appel à l'action[GUT 22].

6.1.2 Avec des soutiens experts importants et impliqués

L'orthodoxie comptable est à la base de notre commerce depuis au moins la Renaissance, sans doute les Phéniciens, les Arabes et les Chinois de l'Antiquité. Il existe de nombreux gardiens que l'assure sous divers angles, et nous devons bénéficier de leur expertise. Nous avons qualifié d'un (*), ce qui nous semblait cruciaux pour l'adoption de notre idée.

i) Du Conseil de sécurité des Nations Unies (CSNU). Le Conseil de sécurité prend l'initiative de déterminer l'existence d'une menace contre la paix ou d'un acte d'agression. L'accès aux sources d'énergie (et de nourriture) est notoirement la principale cause des grands conflits [AUZ 21]. Le soutien du CSNU serait donc des plus précieux. En fait, la mission ultime d'éviter une crise majeure des ressources énergétiques appartiendrait au Conseil de Sécurité de l'ONU. Nous avons vu, l'AIE évalue le budget nécessaire de 2 à 4 Téra-dollars US \$/an pour financer une transition significative. La moitié de ce montant est désormais couverte par le budget militaire mondial [SIP 22]. Financièrement comme socialement, l'humanité ne peut pas se permettre les deux. Le Conseil de sécurité de l'ONU pourrait envisager d'encourager un transfert budgétaire de la transition militaire vers la transition énergétique, comme outil de maintien de la paix.

ii) De l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel ONUDI pourra apporter son accord et son soutien, da la mesure où nos idées ouvrent de nouvelles perspectives, pays d'Afrique avide d'éolien, par exemple.

iii) Du Conseil Economique et Social des Nations Unies (*) [ECO 24] qui se concentre sur la durabilité et son financement et sert de secrétariat à UN Energy, chargé des liaisons inter-agences des Nations Unies en matière d'énergie.

6.2 Organismes financiers habilités globaux

6.2.1 Conseil de Stabilité Financière (CSF=FSB)

Le FSB (*) reconnaît les risques posés par le changement climatique sur la stabilité financière, et il encourage la divulgation [FSB 20] pour permettre aux institutions financières et aux assureurs d'y mieux faire face. Notre proposition n'entre pas en conflit, mais nous avons besoin de leur soutien pour atteindre la crédibilité requise au niveau de l'ONU. En effet, le FSB perçoit deux familles de risques affectant la stabilité monétaire internationale. L'une est physique, une accélération du changement climatique pouvant réduire considérablement la valeur des actifs investis, même à court terme. L'autre est liée à une transition désordonnée, par exemple par des législations non anticipées par les marchés. Un groupe de travail pourrait être créé avec leur coopération, évaluant, en particulier la valeur de notre approche comparée à des législations non anticipées. S'ils se convainquent d'une telle valeur, leur soutien renforcera considérablement la crédibilité de notre invention. Ils sont soutenus par le G20 et les grandes institutions d'assurance.

6.2.2 Le Groupe de la Banque Mondiale (GBM)

Le Groupe de la Banque Mondiale est le plus grand bailleur de fonds multilatéral d'investissements climatiques dans les pays en développement [BIR 24]. Ils pourraient être intéressés à soutenir notre approche stratégique, dans la mesure où elle pourrait alléger le fardeau du financement ailleurs. Leurs encouragements seraient alors précieux.

6.2.3 Le Fonds monétaire international (FMI)

Le Fonds monétaire international (FMI) peut fournir une aide experte pour ajuster et appliquer notre proposition. En effet, le FMI « a un rôle à jouer en aidant ses membres à relever les défis du changement climatique pour lesquels les politiques budgétaires et macroéconomiques constituent un élément important de la réponse politique appropriée » [IMF 24]

6.2.4 International Financial Reporting Standard (IFRS)

L'IFRS (*) [IFR 24] est essentiel. Il est le gardien des normes comptables internationales. L'IFRS Foundation est une organisation d'intérêt public à but non lucratif créée pour élaborer des normes applicables et acceptées à l'échelle mondiale en matière de comptabilité et d'information en matière de développement durable. En matière de comptabilité, l'IFRS s'appuie sur son « Bureau international des normes comptables » (International Accounting Standards Board - IASB) et, pour le développement durable, sur son Conseil international des normes de durabilité (International Sustainability Standards Board - ISSB). L'IASB a été créé en 1973 par les instituts comptables de l'Australie, du Canada, de la France, de l'Allemagne, du Japon, du Mexique, des Pays-Bas, du Royaume-Uni, de l'Irlande et des États-Unis. L'ISSB a été créé en 2021-2022 dans le cadre de la Fondation IFRS. Les deux conseils sont les passages obligés de notre invention, du fait de son essence même.

7. Conclusion

Nous avons montré à quel point notre communauté peine à mettre en place des outils capables d'anticiper suffisamment une conversion vers des technologies non carbonées. L'engagement conservateur de l'industrie pétrolière et gazière, en particulier envers ses réserves, est déjà amplement suffisant pour saturer le budget carbone ; les instances internationales veulent intensifier l'action climatique avant la fin de la décennie.

Nous avons montré l'ampleur du défi à l'aune des investissements nécessaires pour assurer la conversion ; nous l'avons illustré avec des exemples notoires de différences, au moins deux fois, souvent bien plus de dollars ou d'euro par kW de capacité d'énergie. Un jour, devant l'ampleur de l'écart, la souffrance climatique, la pression migratoire qui en résulte, une législation d'interdiction d'utilisation des ressources d'origine fossile devra impérativement être introduite. Ce jour-là, les actifs consacrés à l'exploitation des énergies carbonées d'origine fossile deviendront obsolètes, ils échoueront, disparaîtront des bilans d'entreprise, et leur valeur perdue, portée en perte dans les comptes d'exploitation.

Nous avons montré qu'en lieu et place de cette perspective, il est possible d'établir une nouvelle forme de provision au sein des comptes des opérateurs d'énergie carbonée consacrée à l'engagement de dépenses d'investissement destinées à une transition suffisamment précoce pour assurer les objectifs climatiques et éviter une interdiction tardive et économiquement dangereuse.

Il existe un outil comptable « Provision », dont l'usage, fort encadré dans les comptabilités nationales et internationales, est consacré à des obligations encourues à terme, comme le démantèlement des cœurs de centrales nucléaires épuisés et l'enfouissement de déchets nucléaires. Les dépenses discrétionnaires comme les investissements y sont, à ce jour exclues. Elles n'ont pas de caractère obligatoire. Notre innovation consiste à donner un caractère obligatoire aux dépenses de conversion d'énergie, en les liant aux actifs carbonés, par le truchement d'une Provision physiquement équitable, comme le démantèlement nucléaire est lié à l'évolution physique des actifs producteurs nucléaires. Ainsi, notre provision sera basée équitablement sur la proportion de la valeur énergétique du carbone contenu dans les produits dont on vise le remplacement.

Nous avons montré que l'instauration de la Provision est économiquement attractive, face au risque d'échouage. Elle n'apporte pas, en soi, de financement, mais devrait générer une confiance intéressée, en particulier, aux investisseurs institutionnels. Nous avons estimé des financements nécessaires considérables, mais tout à fait en cohérence avec ceux que l'Agence Internationale de l'Energie estime pour la transition énergétique. Nous avons identifié des exemples de financements innovatifs qui pourraient très bien s'appliquer aux financements de la transition et éteindre la dette encourue par la provision, et des consortia d'énergie où l'on pourrait les tester en vrai, par des simulations comptables et décisionnelles.

Nous avons proposé une feuille de route auprès des diverses instances internationales pour tester sa viabilité et pour semer les graines de l'inclusion de notre innovation dans les réglementations. Finalement, l'avantages, c'est... d'arriver enfin à faire face aux besoins de la transition, en décarbonant... la décision d'investissement.

En annexe, des justifications techniques, qu'on espère intéresseront les experts, et les attireront dans le débat.

En souvenir de Jean Valayer, SAS, tué au combat en avril 1945. Il s'était rebellé contre l'impensable, il a refusé de se rendre.

Crédits : (*) [Lepetit, M.](#), The Shift Project and Global Warning, Paris ; (**)[Vidal, O.](#), CNRS Grenoble

Remerciements au comité de lectures, pour ses commentaires très précieux.

ANNEXES

Annexe (1)

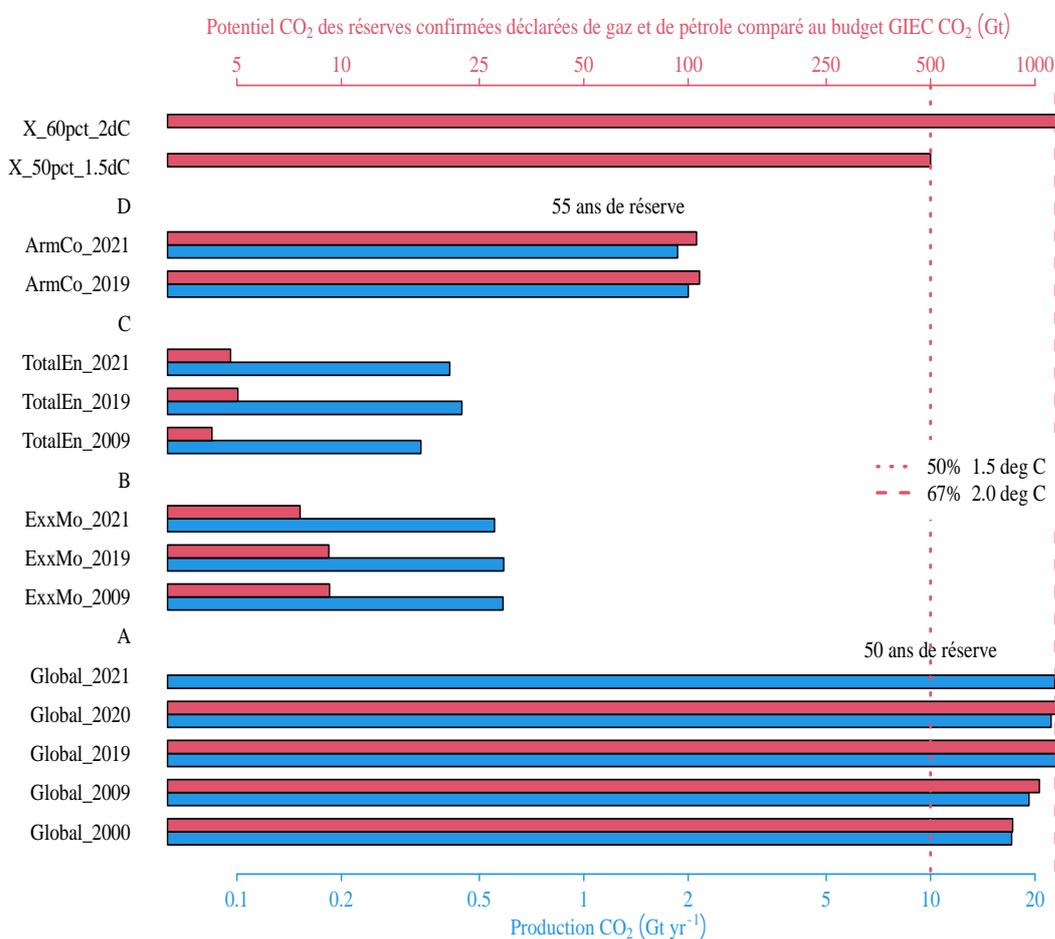


Figure 6a. Réserves publiées par les entreprises pétrolières et gazières.
[BLO 22, EXX 11, TOT 11]
[ARA 22, ENE 22, EXX 23, TOT 22, TOT 24, WAN 16]
Converties en potentiel CO₂

Cette annexe reprend la figure 1 du texte principal, pour mettre en perspective les productions annuelles (en bleu), par rapport aux réserves (en rouge), pour en déduire le nombre d'années de production impliquées par les réserves. L'échelle, logarithmique, a été choisie de façon à visualiser au mieux les proportions des deux quantités ainsi comparées. Ici, en rouge également, les budgets annoncés par le GIEC. La disparité est grande, et Aramco domine, avec des réserves assurant 55 ans de production au rythme actuel.

Annexe (2)

	ExxonMobil			TotalEnergies			Aramco	
	2021	2020	2019	2021	2020	2019	2021	2020
Actifs courants								
Invent, stck, brut	14 519	14 169	14 010	19 952	14 730	17 132	19 921	13 867
Actifs incorpor.	18 022	16 789	16 363	32 484	33 528	33 178	42 845	43 879
Int. min. prouvés				7 652	6 964	7 225		
Int. min. non prv.				13 806	15 510	15 580		
Goodwill, etc.				10 426	11 054	10 373		
Total int miniers				21 458	22 474	22 805		
<i>Min. prouvés (1)</i>	11 905	11 254	11 247	7 652	6 964	7 225	28 302	29 412
Terr., const. équ.	216 552	227 553	253 018	106 559	108 335	116 408	331 818	322 523
<i>Explor./ Prod. (2)</i>	166 728	175 808	202 783	82 042	83 700	93 296	255 474	249 182
Act. net Crbné	193 152	201 231	228 040	109 646	105 394	117 653	303 697	292 462
<i>Min. prouvés (3)</i>	32 971	27 725	40 357	7 652	6 964	7 225	451 162	465 149
<i>Explor./ Prod (4)</i>	216 552	227 553	253 018	106 559	108 335	116 408	331 818	322 523
Act. net Crbné	193 152	201 231	228 040	109 646	105 394	117 653	303 697	292 462
	(1) Intérêts miniers selon le ratio/actifs incorporels de TotalEnergies							
	(2) Equipements exploration et production selon ratio/terrains, constr. & equip de TotalEnergies							
	(3) Intérêts miniers prouvés selon le ratio/réserves prouvées de TotalEnergies							
	(4) Equipements exploration et production selon ratio/reserves prouvées de TotalEnergies							

Tableau 5 Extrapolations issues du tableau 2 (Millions de \$ US)

[ARA 23, EXX 23, TOT 24]

A partir de l'information en provenance des rapports annuels détaillés de TotalEnergies qui ont servi à construire le tableau 2, deux scénarios sont examinés, en vue d'estimer les actifs carbonés d'ExxonMobil et d'Aramco, dont les rapports annuels sont moins détaillés.

Un premier scénario de l'extrapolation est basé sur la proportion existante au sein du rapport de TotalEnergies entre ses intérêts miniers prouvés et le total des actifs incorporels pour estimer les intérêts miniers des deux autres. De même, le rapport entre les équipements liés à l'exploration-production et le total des propriétés de TotalEnergies permet d'estimer les équipements liés à l'exploration-production des deux autres. En additionnant, on aboutit à la première ligne rouge.

Dans le deuxième scénario, les réserves prouvées relatives sont utilisées pour les deux proportions. Les échouages potentiels des deux opérateurs « extrapolés » peuvent être alors comparés à ceux de TotalEnergies dans le tableau 6. On a appliqué les 40% de Trout et al. [TRO 2022] sur la moyenne des trois ans pour les deux premières lignes, et l'on a imaginé, dans cette annexe, d'établir une comparaison avec 60% du résultat moyen, pour déduire le temps qu'il faudrait pour absorber la perte. Pour TotalEnergies, cela ferait 6 ans. Pour ExxonMobil, peut-être 50 ans. Aramco, impensable.

M\$	ExxonMobil	TotalEnergies	Aramco
Actif « échouable » moyen Sc 1	82 990	44 359	119 232
Actif « échouable » moyen Sc 2	71 756	44 359	881 483
60% Résultat opérationnel moyen	1 521	7 192	92 422

Tableau 6 Echouages potentiels comparés (Millions de \$ US)

Annexe (3)

Evaluation des réserves

Trout et al. [TRO 22] estiment que 40 % des réserves seraient échouables, si l'on s'en tient à la limite de 1,5°C du GIEC. Les auteurs présentent une évaluation ascendante (bottom-up) basée sur les émissions de CO₂ déjà engagées provenant des infrastructures existantes, selon la base de données de Rystad Energy (RYS 20) pour le pétrole et le gaz et la construction d'une nouvelle base pour les mines de charbon. Leur estimation centrale des émissions ainsi engagées est de 936 Gt de CO₂, dont 47 % proviennent du charbon, 35 % du pétrole et 18 % du gaz. La nôtre la dépasse (1000 Gt) pour le gaz et le pétrole. Elle provient de British Petroleum et de l'Energy Institute (Fig 1). Même si nous avons eu affaire à une surestimation, elle serait largement compensée par les réserves développées charbonnières.

Ni Trout et al. [TRO 22], ni nous-même n'avons comptabilisé, parmi ces réserves engagées, combien sont récentes et figurent sous forme d'actifs réels, ou sont déjà complètement amorties. Outre la difficulté d'obtenir une évaluation fiable, cela ne changera pas notre propos : (1) L'industrie d'extraction d'énergie fossile déclare un engagement qui comble le budget carbone ; (2) Notre invention propose un mécanisme qui détourne tout nouvel investissement « carboné », vers des énergies non carbonées – sans pour autant en assurer, en soi, le financement, abordé sous ses divers aspects dans l'analyse du financement consécutif à l'établissement d'une Provision, au paragraphe 6.

Exemple d'implication

Le projet de construction d'oléoduc East African Crude Oil Pipe Line a été décidé en Février 2022 [TOT 24]. Il transportera la production de 190 000 barils par jour ($190 \cdot 10^3$) de ses 426 puits [TOT 22a].

Selon les estimations de [BP 20] et de l'Energy Institute [ENE 22], le contenu énergétique d'un baril est en moyenne de 6,119 GJ (Giga : 10^9). Avec 3600 kJ/kWh, ou 3600 GJ/GWh, cela fait 0,0017 GWh pour chaque baril, donc chaque jour : $190 \cdot 10^3 \times 0,0017$ GWh ou $190 \times 1,7 = 390$ GWh. Pour chaque heure : $390/24 = 16$ GW, la capacité énergétique théorique du projet. Ce flux nourrira des installations capables de transformer l'énergie ainsi disponible en énergie utilisable, par exemple des centrales thermiques. Marginalement, cela peut conduire à des investissements de transformation supplémentaires. Le tableau 3 de l'alinéa 6.1 montre des exemples de coûts d'investissement (CAPEX) de capacité de production d'énergie. En imaginant le cas, limite-optimiste, où aucun investissement supplémentaire ne sera nécessaire, on peut mettre la capacité carbonée projetée en regard de l'effort en énergies nouvelles engagées (provisionnée ?) et associées au projet : 16 GW carbonée à l'encontre de 1,32 GW de renouvelable. Selon notre proposition, il aurait fallu provisionner pour 6 à 7 fois plus (56% de 16). Peut-être que d'autres engagements en énergie renouvelable auraient pu s'ajouter au projet, par exemple en Afrique [ABD 22, BOA 24], ou au Moyen-Orient [MUS 21] ?

Il est également indiqué, dans la documentation fournie [TOT 22a], qu'une part des profits générés par le projet sera réinvestie dans le renouvelable. Emettre du CO₂ (via la production de nouveaux investissements carbonés) pour les éviter (via le profit réinvesti en énergies renouvelables) peut

éventuellement fonctionner si le retour (en valeur absolue) sur investissement par GW d'énergie renouvelable est supérieur à celui de l'énergie carbonée. Si l'on prend un taux identique en valeur relative, le retour en valeur absolue est rare ou inexistant à ce jour, en raison du coût d'investissement généralement plus élevé des énergies renouvelables (Tableau 3 du paragraphe 6.1). Plus simplement, en saturant le budget carbone, beaucoup, maintenant, dans le but de le faire un peu moins demain, ne fait-on pas une course sur un tapis de course plus rapide que le coureur ? N'est-il pas beaucoup plus nécessaire d'éviter tout engagement carboné et de consacrer l'intégralité des capacités d'investissement au renouvelable ?

Annexe (4)

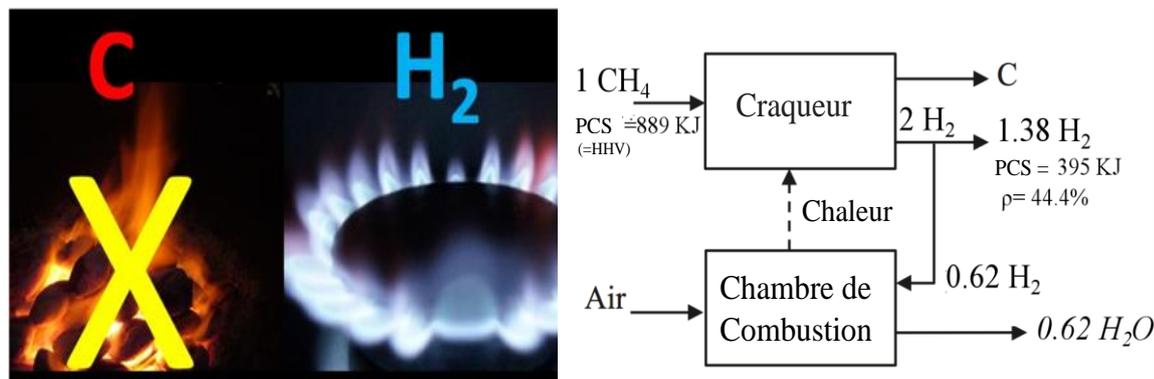


Figure 7a. Le craquage du méthane illustre la valeur énergétique de son carbone
[VAL 19, WAN 16]

La provision de l'actif à remplacer doit se baser sur une valeur équitable, celle de la composante «carbone » de l'actif carboné. Une telle composante se calcule par la proportion d'énergie contribué par le carbone proprement dit au sein de la combustion de l'hydrocarbure dont il est l'un des composants. En effet, les opérateurs pétroliers et gaziers tirent leurs revenus du carbone grâce à sa valeur énergétique, au sein des produits qu'ils mettent sur le marché. La valeur du carbone, au sein du gaz naturel (le méthane) est illustrée dans la figure 3 où le craquage du méthane montre que 56 % de sa richesse énergétique peut être attribuée au carbone qu'il contient (provenant du rendement en valeur énergétique de production d'hydrogène H₂ obtenu ρ=44.4 %).

Calcul des valeurs actualisées pour l'analyse de la rentabilité de l'opération (paragraphe 5.4)

1^{ère} colonne chiffrée : valeurs actualisées au taux de 8%

Valeur initial de l'actif	100														
Taux provision/actif carboné	56 %														
Taux d'actualisation	8 %														
Deprec. % val init/Année	5 %														
Actif Carboné		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Passif de Provision		-56,0	-53,2	-50,4	-47,6	-44,8	-42,0	-39,2	-36,4	-33,6	-30,8	-28,0	-25,2	-22,4	-19,6
Valeur Net		44	41,8	39,6	37,4	35,2	33	30,8	28,6	26,4	24,2	22	19,8	17,6	15,4
2030	18,0	0	0	0	0	0	0	30,8							
Actualisé															
2035	7,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,8		
2031	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2036	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dépréciation €	5	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
non carboné de remplacement		56,0	53,2	50,4	47,6	44,8	42,0	39,2	36,4	33,6	30,8	28,0	25,2	22,4	19,6
Actualisé2030	22,9	0	0	0	0	0	0	39,2							
Actualisé 2035	10,0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	25,2		
2031	19,7	0	0	0	0	0	0	0	36,4				0		
2036	8,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,4	
Net 2030	4,9														
Net 2035	2,1														
Net 2031	19,7														
Net 2036	8,2														
Avantage Echouage fin...															
Actualise															
2030															
2035															
Avant									4,9	2,1					
Après									19,7	8,2					

Références

- [ABD] ABDELRAZIK, M. K., ABDELAZIZ, S. E., HASSAN, M. F. AND HATEM, T. M., « Climate action: Prospects of solar energy in Africa », *Energy Reports*, 11363-11377, 2022/11/01/, 2022
- [ARA 22] ARAMCO, « Saudi Aramco Annual Report 2021 », <https://www.aramco.com/-/media/publications/corporate-reports/saudi-aramco-ara-2021-english.pdf>, 2022, Téléchargé le 23 Février 2023
- [ARA 23] ARAMCO, « Reports and presentations », Aramco, <https://www.aramco.com/en/investors/reports-and-presentations>, 2023, Téléchargé le 10 Mars 2024
- [ARR 96] ARRHENIUS, S., « On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Grounds », *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 237-276, 1896 , https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf Téléchargé le 4 Avril 2024
- [AUZ 21] AUZANNEAU, M., *Or Noir - La Grande Histoire du Pétrole*, La Découverte, Paris, 2021
- [BAG 20] BAGHERI, S., Self-adjusting surrogate-assisted optimization techniques for expensive constrained black box problems, PhD, Leiden, 2020 <https://scholarlypublications.universiteit leiden.nl/handle/1887/87271> Téléchargé le 4 Avril 2024
- [BIR 24] BIRD, « Nous nous lançons dans une refonte majeure de notre système de garanties des investissements pour simplifier les procédures », BIRD, <https://www.banquemonde.org/fr/home>, 2024, Téléchargé le 10 Mars 2024
- [BLO 22] BLOOMBERG, « Bloomberg Terminal log-in », <https://www.bloomberg.com/professional/solution/bloomberg-terminal/>, 2022
- [BOA 24] BOADU, S. AND OTOO, E., « A comprehensive review on wind energy in Africa: Challenges, benefits and recommendations », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114035, 2024/03/01/, 2024
- [BP 20] BP, « BP Statistical Review of World Energy June 2020 All data », Téléchargé Aout 2020, version originale, 2020
- [CAO 19] CAO, X. AND LIU, K. J. R., « Online Convex Optimization With Time-Varying Constraints and Bandit Feedback », *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2665-2680, 2019 http://sig.umd.edu/publications/OnlineConvex_XYC.pdf Téléchargé le 4 Avril 2024
- [CHA 22] CHANG, G., « TotalEnergies will not shift CAPEX strategy as governments push for more oil and gas production », ICIS, <https://www.icis.com/explore/resources/news/2022/06/14/10774995/totalenergies-will-not-shift-capex-strategy-as-governments-push-for-more-oil-and-gas-production-ceo/>, 2022, Téléchargé le 15 Juillet 2023
- [CMS 17] CMS, « Offshore wind energy law and regulation in Belgium », CMS, <https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-offshore-wind-in-northern-europe/belgium>, 2017, Téléchargé le 12 Novembre 2022
- [CNU 24] CNUDCI, « Commission des Nations Unies pour le droit commercial international », Nations Unies, <https://uncitral.un.org/fr>, 2024, Téléchargé le 10 Mars 2024
- [COL 23] COLRUYT, « Investing in Green Energy », Colruyt, <https://www.colruytgroup.com/en/sustainable-entrepreneurship/initiatives/investing-green-energy>, 2023, Téléchargé le 4 Janvier 2024
- [DALL 24] DALLOZ, « Qu'est-ce qu'une provision comptable ? A quoi sert une provision comptable? », <https://formation.lefebvre-dalloz.fr/glossaire/glossaire-comptabilite/provisions#:~:text=Les%20provisions%20d%C3%A9signent%20des%20charges,en%20dessous%20des%20capitaux%20propres.>, 2024, Téléchargé le 9 Mars 2024
- [DALO 24] DALOS, « Division des affaires maritimes et du droit de la mer », Nations Unies, <https://www.un.org/ola/fr/content/div-doalos-fr>, 2024, Téléchargé le 10 Mars 2024
- [DEL 23] DELOITTE, « 2024 Oil and Gas Industry Outlook. Insight, Oil and Gas », Deloitte, <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/oil-and-gas/oil-and-gas-industry-outlook.html>, 2023, Téléchargé le 12 Novembre 2023
- [DEM 21] DEME, « Oman's strategic green hydrogen project HYPOR[®] Duqm has signed a cooperation agreement with energy giant Uniper. Under the cooperation, Uniper will be joining the project team to provide engineering services and negotiate an exclusive offtake agreement of green ammonia. », <https://www.deme->

group.com/news/hyportr-duqm-signs-cooperation-agreement-uniper-explore-green-ammonia-offtake, 2021, Téléchargé le 01-10-2021

[DKA 24] DKARBONATION, « « DKarbonation » : Dunkerque lance un projet pour une industrie bas carbone », <https://initiatives.media/dkarbonation-dunkerque-lance-un-projet-pour-une-industrie-bas-carbone/>, 2024, Téléchargé le 4 Avril 2024

[DOG 23] DOGGEROWNERS, « Eni joins Dogger Bank C as sell down process completes », <https://doggerbank.com/press-releases/eni-joins-dogger-bank-c-as-sell-down-process-completes/>, 2023, Téléchargé le 3 Avril 2024

[ECO 24] ECOSOC, « Energy (SD 7) », Nations Unies, https://sdgs.un.org/topics/energy?_gl=1*19f5ekt*_ga*NTY0NDI3MjlyLjE3MDk0NjIwODU.*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcxMDA2MDAwMy4xLjEuMTcxMDA2MDI0NC4wLjAuMA.. 2024, Téléchargé le 10 Mars 2024

[EDF 23] EDF, « Comptes consolidés au 31 Décembre 2022 », Electrécité de France, <https://www.edf.fr/sites/groupe/files/2023-02/resultats-annuels-2022-comptes-consolides-au-format-esef-2023-02-17.xhtml>, 2023, Téléchargé le 11 Juin 2023

[ENE 22] ENERGY_INSTITUTE, « 2023 Statistical Review of World Energy (successor -BP Statistical Review 2022 All data) », Energy Institute, <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>, 2022, Téléchargé le 4 Janvier 2024

[EQU 24] EQUINOR, « Annual report 2023 », <https://www.equinor.com/investors/2023-annual-report#downloads>, 2024, Téléchargé le

[EXXONMOBIL 2011] EXXONMOBIL, « Annual Report 10k », <https://ir.exxonmobil.com/static-files/6b57cda7-e58d-4817-98b6-593c65313875>, 2011, Téléchargé le 1 Juin 2023

[EXX 23] EXXONMOBIL, « Annual reports », United States Securities and Exchange Commission, <https://investor.exxonmobil.com/sec-filings/annual-reports>, 2023, Téléchargé le 10 Mars 2024

[FRED 22] FRED, « Spot Crude Oil Price: West Texas Intermediate (WTI) », Federal Reserve Bank, <https://fred.stlouisfed.org/series/WTISPLC>, 2022, Téléchargé le 7 Mars 2022

[FRES 24] FRESSOZ, J.-B., « Transition énergétique : aux sources d'une fausse promesse », Radio France, <https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/france-culture-va-plus-loin-l-invite-e-des-matins/transition-energetique-aux-sources-d-une-fausse-promesse-8969233>, 2024, Téléchargé le 2 Juin 2024

[FSB 20] FSB, « The Implications of Climate Change for Financial Stability », Financial Stability Board, <https://www.fsb.org/wp-content/uploads/P231120.pdf>, 2020, Téléchargé le 1 juin 2023

[GOU 23] GOUV., « Comprendre le GIEC », Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires, <https://www.ecologie.gouv.fr/comprendre-giec#>, 2023, Téléchargé le 30 Mars 2024

[GUT 22] GUTERRES, A., « Guterres announces « no nonsense » climate action summit; calls for practical actions », Nations Unies, <https://news.un.org/en/story/2022/12/1131842>, 2022, Téléchargé le 22 Juin 2023 2023

[IAEA 2024] IAEA, « NUCLEAR ENERGY FOR NET ZERO: ACCELERATING INVESTMENT IN CLEAN ENERGY TRANSITIONS », IEAE, [HTTPS://DOI.ORG/10.61092/IAEA.z743-U8x2](https://doi.org/10.61092/IAEA.z743-U8x2), 2024, TÉLÉCHARGÉ LE 2 JUIN 2024

[IAE 24] IAEA, « Nuclear Energy for Net Zero: Accelerating Investment in Clean Energy Transitions », IEAE, <https://www.iaea.org/publications/15664/nuclear-energy-for-net-zero-accelerating-investment-in-clean-energy-transitions>, Téléchargé le 2 Juin 2024

[IEA 19] IEA, « The Future of Hydrogen », International Energy Agency, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a02a0c80-77b2-462e-a9d5-1099e0e572ce/IEA-The-Future-of-Hydrogen-Assumptions-Annex.pdf>, 2019, Téléchargé le 6 Juin 2023

[IEA 20] IEA, « Key World Energy Statistics », https://iea.blob.core.windows.net/assets/5c2a826c-5ec7-4517-b713-1b0fc3dea05e/KeyWorldEnergyStatistics2020_Methodology.pdf, 2020, Téléchargé le 12 Septembre 2023

[IEA 22] IEA, « World Energy Outlook 2022 », AEI, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/7e42db90-d8ea-459d-be1e-1256acd11330/WorldEnergyOutlook2022.pdf>, 2022, Téléchargé le 31 Octobre 2023 2023

[IEA 23] IEA, « Global Energy and Climate Model Documentation 2023 », <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ff3a195d-762d-4284-8bb5-bd062d260cc5/GlobalEnergyandClimateModelDocumentation2023.pdf>, 2023, Téléchargé le 2 Avril 2024

[IEA 23a] IEA, « World Energy Outlook », <https://iea.blob.core.windows.net/assets/42b23c45-78bc-4482-b0f9-eb826ae2da3d/WorldEnergyOutlook2023.pdf>, 2023a, Téléchargé le 2 Avril 2024

[IEA 23b] IEA, « Cost of Capital Observatory », International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/cost-of-capital-observatory/dashboard-2>, 2023, Téléchargé le 5 Avril 2024

[IEA 23c] IEA, « Oil 2023 », International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/oil-2023/executive-summary> , 2023, Téléchargé le 2 Juin 2024

[IEA 24] IEA, « World Energy Investment 2023 » <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2023/overview-and-key-findings> 2024, Téléchargé le 3 Juin 2024

[IEAW 24] IEA_WEB, « Annual average clean energy financing by source in the Announced Pledges and Net Zero Scenarios, 2016-2050 », IEA, <https://www.iea.org/articles/the-cost-of-capital-in-clean-energy-transitions>, 2024, Téléchargé le 2 Avril 2024

[IFR 01] IFRS, « IAS 37 Provisions, Contingent Liabilities and Contingent Assets », IFRS, <https://www.ifrs.org/content/dam/ifrs/publications/pdf-standards/english/2024/issued/part-a/ias-37-provisions-contingent-liabilities-and-contingent-assets.pdf?bypass=on>, 2001, Téléchargé le 27 Mai 2024

[IFR 24] IFRS, « IFRS, about us, contact us », IFRS, <https://www.ifrs.org/about-us/contact-us/> , 2024, Téléchargé le 3 Juin 2024

[IMF 24] IMF, « The IMF and Climate Change », International Monetary Fund, <https://www.imf.org/en/Topics/climate-change>, 2024, Téléchargé le 1 Juin 2023

[IPC 23] IPCC, « Summary for Policymakers », dans H. L. a. J. R. Core Writing Team, *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Genève, Suisse, 2023 <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

[ISA 24] ISA, « A propos de l'ISA », Nations Unies, <https://www.isa.org.jm/about-isa/>, 2024, Téléchargé le 10 Mars 2024

[LAM 16] LAMBERT, F., « Tesla (TSLA) closed its stock offering with \$1.7 billion in net proceeds to finance the Model 3 program », Tesla, <https://electrek.co/2016/05/25/tesla-tsla-stock-offering-proceeds-model-3/>, 2016, Téléchargé le 1 Juin 2023

[LI 24] LI, J., XIA, Y., SONG, X., CHEN, B. AND ZARE, R. N., « Continuous ammonia synthesis from water and nitrogen via contact electrification », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, e2318408121, 2024 <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.2318408121> Téléchargé le 4 Avril 2024

[LOU 21] LOULOU, R., GODSTEIN, G., KANUDIA, A., LETTILA, A. AND REMME, U., « Documentation for the MARKAL Family of Models TIMES », IEA-ETSAP, [https://iea-etsap.org/docs/Documentation for the TIMES Model-Part-1.pdf](https://iea-etsap.org/docs/Documentation%20for%20the%20TIMES%20Model-Part-1.pdf), 2021, Téléchargé le 12 Octobre 2022

[MON 24] MONOLITH, « Monolith Clean Hydrogen will serve the high-energy/zero-emission needs of a number of industries », Monolith, <https://monolith-corp.com/clean-hydrogen>, 2024, Téléchargé le 7 Janvier 2024

[MUS 21] MUSCATDAILY, « Hyport Duqm signs land deal for green hydrogen project », <https://www.muscatedaily.com/2021/09/27/hyport-duqm-signs-land-deal-for-green-hydrogen-project/>, 2021, Téléchargé le 30-09-2021

[NOR 24] NORTH_SEA_PORT, « From cereals to grains of salt », <https://en.northseaport.com/dry-bulk>, 2024, Téléchargé le 9 Mars 2024

[NSW 24] NSWPH, « Beyond the Waves », Energinet, Gasunie, Tennet Germany and Tennet Netherlands Consortium, <https://northseawindpowerhub.eu/>, 2024, Téléchargé le 9 Mars 2024

[OLA 24] OLA, « Division du droit commercial international », Nations Unies, <https://www.un.org/ola/fr/content/div-itld-fr>, 2024, Téléchargé le 1 Juin 2023

[OHL 22] OHLENDORF, N., FLACHSLAND, C., NEMET, G. F. AND STECKEL, J. C., « Carbon price floors and low-carbon investment: A survey of German firms », *Energy Policy*, 113187, 2022/10/01/, 2022

[ORS 20] ØRSTED, « Ørsted brings in CDPQ and Cathay PE as investors in the Greater Changhua 1 Offshore Wind Farm », Ørsted, <https://orsted.com/en/company-announcement-list/2020/12/2150951>, 2020, Téléchargé le 19 Décembre 2023

[ONU 48] ONU, « La Déclaration universelle des droits de l'homme », ONU, <https://www.un.org/fr/universal-declaration-human-rights/>, 1948, Téléchargé le 4 Avril 2024

[POL 24] POLENERGIE, « Decarbonation », Pôlénergie, <https://polenergie.org/nos-adherents/>, 2024, Téléchargé le 4 Avril 2024

[RÜD 14] RÜDIGER, M., « Die Ölkrise von 1973 und die Entwicklung einer dänischen Energiepolitik », *Historical Social Research*, 94-112, 2014 https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/40489/ssoar-hsr-2014-4-rudiger-The_1973_oil_crisis_and.pdf?isAllowed=y&lnkname=ssoar-hsr-2014-4-rudiger-The_1973_oil_crisis_and.pdf&sequence=1 Téléchargé le 4 Avril 2024

[SHE 77] SHELDRIK, W. F., « Fertilizer News Bulletin », <https://documents1.worldbank.org/curated/en/947851566535846121/pdf/Fertilizer-News-Bulletin-Number-1.pdf>, 1977, Téléchargé le 24 Novembre 2021

[SIP 22] SIPRI, « World military expenditure passes \$2 trillion for first time », Stockholm International Peace Research Institute, <https://www.sipri.org/media/press-release/2022/world-military-expenditure-passes-2-trillion-first-time>, 2022, Téléchargé le 30 Septembre 2023

[SMI 01] SMIL, V., *Enriching the Earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the Transformation of World Food Production*, MIT Press, Cambridge, MA, 2001 <https://direct.mit.edu/books/book/2775/Enriching-the-EarthFritz-Haber-Carl-Bosch-and-the>

[STI 22] STIEL, S., « COP27 Closing Remarks by the UN Climate Change Executive Secretary », <https://unfccc.int/news/cop27-closing-remarks-by-the-un-climate-change-executive-secretary>, 2022, Téléchargé le 19 Décembre 2023

[STO 24] STOREGGA, « Growing our decarbonised future », Storegga, <https://www.theacornproject.uk/>, 2024, Téléchargé le 1 Mars 2024

[TOT 11] TOTAL, « Document de reference 2011 », Total, https://totalenergies.com/sites/g/files/nytnzq121/files/atoms/file/TOTAL_Document_de_reference_2011.pdf, 2011, Téléchargé le 1 Juin 2023

[TOT 22] TOTALÉNERGIES, « Document d'enregistrement Universel 2021 », TotalEnergies, https://totalenergies.com/system/files/documents/2022-03/DEU_21_VF.pdf, 2022, Téléchargé le 1 Juin 2023

[TOT 22A] TOTALÉNERGIES, « Tilenga and EACOP, two TotalEnergies' projects », TotalEnergies, https://totalenergies.com/system/files/documents/2022-12/Tilenga_EACOP_TotalEnergies_projects.pdf, 2022a, Téléchargé le 1er Juin 2024

[TOT 23] TOTALÉNERGIES, « Brazil: Launch of the Lapa South-West Project », <https://totalenergies.com/media/news/press-releases/brazil-launch-lapa-south-west-project>, 2023, Téléchargé le 13 Juin 2023

[TOT 24] TOTALÉNERGIES, « Rapports », TotalEnergies, <https://totalenergies.com/fr/investisseurs/rapports>, 2024, Téléchargé le 10 Mars 2024

[TRO 22] TROUT, K., MUTTITT, G., LAFLEUR, D., VAN DE GRAAF, T., MENDELEVITCH, R., MEI, L. AND MEINSHAUSEN, M., « Existing fossil fuel extraction would warm the world beyond 1.5 °C », Environmental Research Letters, 064010, 2022/05/17, 2022 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac6228>

[UNC 22] UNCTAD, « Centre de données », Nations Unies, <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/>, 2022, Téléchargé le 7 Mars 2022

[UNF 23a] UNFCCC, « L'accord de la COP28 marque le "début de la fin" de l'ère des combustibles fossiles », United Nations, <https://unfccc.int/fr/news/l-accord-de-la-cop28-marque-le-debut-de-la-fin-de-l-ere-des-combustibles-fossiles>, 2023a, Téléchargé le 9 Mars 2024

[UNF 23b] UNFCCC, « Standing Committee on Finance (SCF) », Nations Unies, <https://unfccc.int/SCF#SCF-Forum>, 2023b, Téléchargé le 15 Juillet 2023

[UNF 24] UNFCCC, « L'Accord de Paris », Paris, <https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris#:~:text=L'Accord%20de%20Paris%20est,vigueur%20le%204%20novembre%202016.>, 2024, Téléchargé le 3 Juin 2023

[VAL 19] VALAYER, P. J., VIDAL, O., WOUTERS, N. AND VAN LOOSDRECHT, M. C. M., « The full energy cost of avoiding CO2: A clean-energy booking provision for a vigorous energy transition », Journal of Cleaner Production, 117820, 2019/11/10/, 2019 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619326800>

[VEN 24] VENSIM, « Vensim is industrial-strength simulation software for improving the performance of real systems. », <https://vensim.com/software/>, 2024, Téléchargé le 2 Avril 2024

[VID 18] VIDAL, O., LE BOULZEC, H. AND FRANÇOIS, C., « Modelling the material and energy costs of the transition to low-carbon energy », EPJ Web Conf., //, 2018 https://www.epj-conferences.org/articles/epjconf/abs/2018/24/epjconf_eps-sif2018_00018/epjconf_eps-sif2018_00018.html Téléchargé le 4 Avril 2024

[WAN 16] WANG, Z., FAN, W., ZHANG, G. AND DONG, S., « Exergy analysis of methane cracking thermally coupled with chemical looping combustion for hydrogen production », Applied Energy, 1-12, 2016/04/15/, 2016 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916300630?via%3Dihub> <téléchargé le 4 Avril 2024

- [WAN 22] WANG, Z., FAN, Z., ZHANG, X., LIU, B. AND CHEN, X., « Status, trends and enlightenment of global oil and gas development in 2021 », Petroleum Exploration and Development, 1210-1228, 2022/10/01/, 2022 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876380422603446> Téléchargé le 4 Avril 2024
- [ZHO 24] ZHOU, X., XING, S., JIN, Y., ZHANG, M. AND LIU, Z., « Carbon price signal failure and regulatory policies: A systematic review », Environmental Impact Assessment Review, 107444, 2024/03/01/, 2024
- [Xu 23] XU, C. AND BELL-HAMERT, L., « Global oil and natural gas reserves both increase », Oil and Gas Journal, 2023 <https://www.ogj.com/general-interest/economics-markets/article/14302481/global-oil-and-natural-gas-reserves-both-increase> Téléchargé le 4 Avril 2024