



# Saudi Aramco

## Evaluation préliminaires des risques climatiques

Novembre 2019

# Table des matières

Table des matières .....	2
Executive summary .....	3
Introduction.....	5
Température.....	6
Origine et nature des risques .....	6
Réchauffement à l'horizon 2020-2050 .....	7
Evolutions locales de la température .....	7
Productivité et conditions de travail .....	8
Elévation du niveau des océans .....	9
Origine et nature des risques .....	9
Risques et coûts significatifs dès 2030 .....	9
Inondations et crues.....	11
Origine et nature des risques .....	11
Cas de la raffinerie Motiva de Port-Arthur (Etats-Unis).....	11
Augmentation possible des risques liés aux crues .....	12
Ressource en eau douce.....	14
Origine et nature des risques .....	14
Le système eau-énergie saoudien .....	14
Evolution des précipitations et de l'aridité .....	16
Conclusion .....	17
Annexe méthodologique.....	19

## Droit d'auteur

Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Reproduction autorisée, moyennant mention de la source.

## Clause de non responsabilité

Les informations contenues dans ce rapport sont de nature générale. Il n'est pas conçu pour être exhaustif et n'a en aucun cas valeur de conseil ou de service professionnel. Callendar n'a aucune obligation de mettre à jour les informations qu'il contient. En conséquence, Callendar et ses employés et/ou agents n'acceptent aucune responsabilité pour les pertes, dommages ou dépenses qui pourraient résulter de son utilisation.

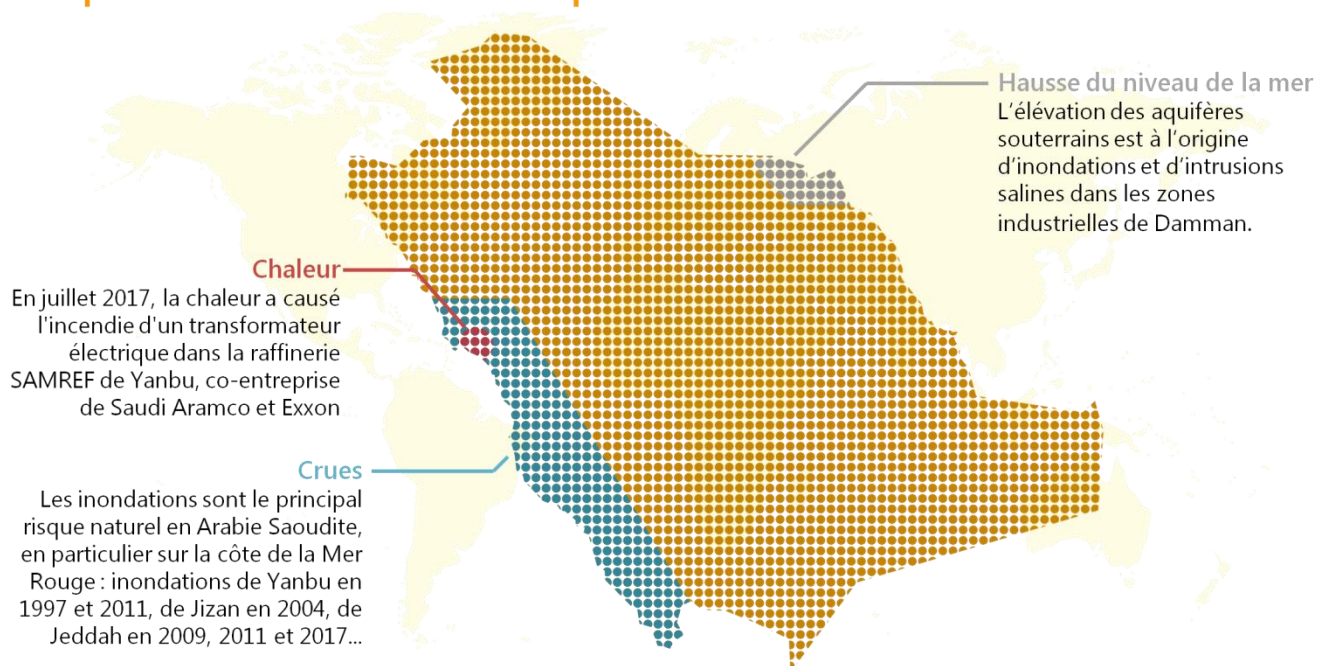
## Executive summary

Dans le prospectus publié en vue de son entrée en bourse, Saudi Aramco reconnaît que le changement climatique peut avoir des effets négatifs sur son activité et ses résultats. Ce rapport a pour objectif d'évaluer la nature et l'ampleur ces risques à l'horizon 2035. Il s'appuie sur une étude bibliographique et des éléments quantitatifs inédits fournis grâce aux projections réalisées par 7 modèles climatiques.

Cette étude montre que les opérations de Saudi Aramco en Arabie Saoudite et dans le monde sont vulnérables face à des événements météorologiques. Certains de ces aléas se sont déjà réalisés, voire ont été pris en compte dans les décisions et le fonctionnement de l'entreprise. C'est le cas notamment :

- du risque d'inondation qui a affecté des raffineries exploitées par Saudi Aramco notamment à Yanbu (Arabie Saoudite) ou de Port-Arthur (Etats-Unis),
- de la chaleur et des dommages qu'elle entraîne pour les équipements et les personnels.

### Exemples d'événements climatiques affectant les activités de Saudi Aramco

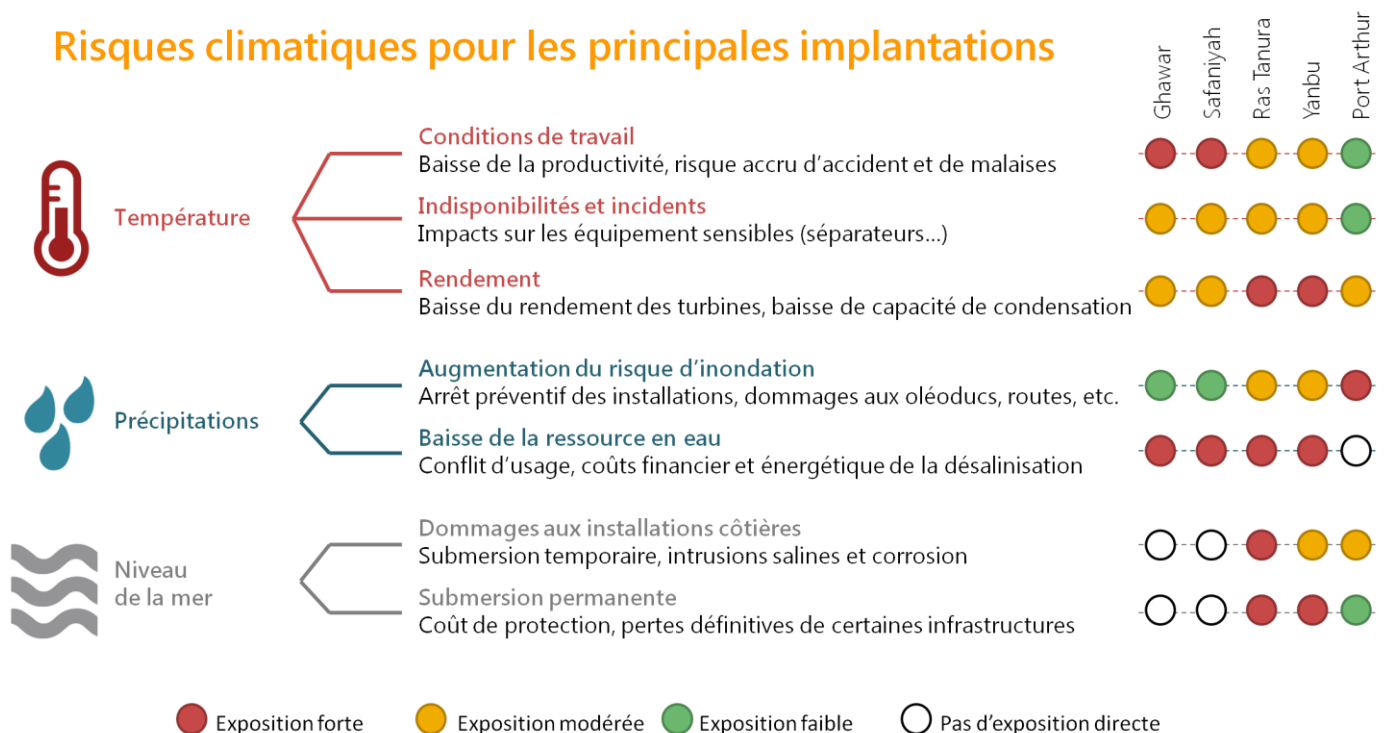


D'autres risques sont susceptibles d'apparaître ou d'être amplifiés par le changement climatique sans qu'il soit évident que l'entreprise les ait reconnus ou tente de les maîtriser. Il s'agit notamment :

- de l'élévation du niveau de la mer et de ses conséquences sur les installations côtières,
- de l'effet de l'augmentation de la température sur le rendement, la valorisation et la disponibilité des procédés, notamment en raffinage.

Comme les régions où l'entreprise est implantée sont particulièrement sujettes à certains aléas, comme les inondations ou les températures extrêmes, leur forçage par le changement climatique peut dégrader la compétitivité de Saudi Aramco par rapport à des concurrents moins exposés. En outre, ces phénomènes aggravent indirectement des risques géopolitiques, environnementaux, réglementaires et communicationnels.

## Risques climatiques pour les principales implantations



A moyen-terme, l'aridification du climat saoudien pourrait contraindre le développement de Saudi Aramco. Dans un contexte de croissance de la demande et d'épuisement progressif des ressources fossiles, l'accès à l'eau douce, indispensable en particulier au raffinage, devra se reposer de plus en plus sur des unités de dessalement. Cette opération consomme déjà une part significative de la production d'hydrocarbures saoudienne dégradant ainsi le retour sur investissement financier et énergétique de leur exploitation. Cette particularité pourrait créer une limite physique à l'adoption de techniques consommatrices en eau et/ou disposant déjà d'un faible taux de retour énergétique comme la fracturation hydraulique.

Enfin cette étude identifie des axes d'approfondissement qui permettraient de mieux évaluer l'impact du changement climatique sur la valeur à long-terme de Saudi Aramco.

# Introduction

Lancée le 3 novembre 2019, le processus d'introduction en bourse de la compagnie pétrolière nationale saoudienne, Saudi Aramco, doit être une des plus importantes opérations financière de l'histoire.

Si le gouvernement saoudien vise une valorisation de 2 000 milliards de dollars, la valeur de l'entreprise semble difficile à établir : Goldman Sachs l'évalue par exemple entre 1 600 et 2 300 milliards, Bank of America entre 1 200 et 2 300 milliards et Bernstein entre 1 200 et 1 500 milliards<sup>i</sup>.

Quel que soit le modèle utilisé, ces évaluations s'appuient sur une projection des bénéfices réalisables par l'entreprise sur les prochaines décennies. Elles intègrent de nombreuses hypothèses, y compris dans des domaines très incertains à cet horizon comme les cours du pétrole ou l'évolution de la situation géopolitique du Golfe Persique.

Parmi les facteurs qui peuvent influencer la rentabilité de Saudi Aramco à long-terme, les effets de l'évolution du climat sur la production, le transport et la transformation d'hydrocarbures ne semblent pas avoir été étudiés. L'existence de risques réels est pourtant démontrée par des événements récents, par exemple l'arrêt de près d'un quart de la capacité raffinage américaine suite à l'ouragan Harvey en 2017<sup>ii</sup> ou une perte de production estimée à 500 000 barils par jour pendant l'inondation du delta du Niger en 2012<sup>iii</sup>.

Dans le prospectus publié le 10 novembre, Saudi Aramco reconnaît que le changement climatique peut avoir des effets négatifs sur son activité et ses résultats<sup>1</sup> mais sans apporter plus de détail sur la nature des risques et leurs ampleurs.

L'objectif de ce document est de donner une première évaluation des risques physiques causés par le changement climatique pour l'activité de Saudi Aramco à l'horizon 2035. Cette évaluation est basée sur une étude bibliographique et des éléments quantitatifs inédits fournis grâce aux projections réalisées par 7 modèles climatiques<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> "Existing and future climate change concerns and impacts, including physical impacts to infrastructure [...] could [...] have a material adverse effect on the Company's business, financial position and results of operations."

<sup>2</sup> Voir annexe méthodologique pour plus de détails

# Température

## Origine et nature des risques

La température ambiante a une influence sur le bon fonctionnement et le rendement des installations de production, de transport et de raffinage d'hydrocarbures. Les équipements sensibles à la température comprennent par exemple les compresseurs, les séparateurs par effet Joule-Thompson, les slug-catchers<sup>iv, v</sup> ou les lignes et équipements électriques. La chaleur accélère par ailleurs la corrosion particulièrement dans les environnements salins.

Au-delà de l'indisponibilité des équipements sensibles à la température et d'une augmentation des coûts de maintenance, la chaleur peut être à l'origine d'incidents affectant l'exploitation. Elle semble, par exemple, avoir été à l'origine de l'incendie d'un transformateur électrique en juillet 2017 dans la raffinerie SAMREF de Yanbu, co-entreprise de Saudi Aramco et Exxon<sup>vi</sup>.

La production et le transport de gaz sont plus particulièrement sensibles à la température extérieure. Les trains de liquéfaction de LNG doivent amener le gaz naturel à une température de  $-162^{\circ}\text{C}$  pour le condenser. Chaque étage du processus de refroidissement est dimensionné en fonction d'une température maximale dites "de design" et le premier étage est particulièrement sensible à la température ambiante. L'exploitant peut dans une certaine mesure réduire les débits pour gagner en capacité de réfrigération, mais au-delà de certains seuils les réductions de débit peuvent buter sur d'autres problèmes techniques sans solution simple. Une fois ces seuils dépassés, **l'adaptation des installations voire des procédés à l'augmentation de la température maximale est possible mais nécessite des investissements généralement coûteux** en particulier si la nouvelle pression requise dépasse les pressions maximales admissibles pour les équipements.

Une problématique similaire existe pour les raffineries : une réfrigération est nécessaire pour condenser les productions de GPL. Or **les évolutions récentes des raffineries pour améliorer la conversion ont conduit à saturer les unités de condensation des parties légères. Toute augmentation de température maximale entraîne donc une perte de valorisation** soit par réduction de débit soit par baisse des capacités de fractionnement et donc de valorisation des bruts ou condensat.

L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur peut également avoir des effets indirects via la dégradation des routes et des revêtements asphaltés, des voies ferrées, des véhicules et des bâtiments. L'état de santé des travailleurs peut aussi être

affecté : au cours du XXI<sup>e</sup> siècle, les températures en Arabie Saoudite pourraient s'élever au-delà des capacités d'adaptation du corps humain<sup>vii</sup>.

## Réchauffement à l'horizon 2020-2050

Les observations météorologiques indiquent une augmentation de la température sur le territoire saoudien de l'ordre de 0.5°C par décennie entre 1985 et 2010<sup>viii</sup>. Sans réduction des émissions, cette tendance devrait s'accélérer au cours des prochaines décennies. La hausse des températures devrait être particulièrement marquée sur les gisements exploités par Saudi Aramco à l'intérieur des terres (Ghawar, Khurais et Shaybah).

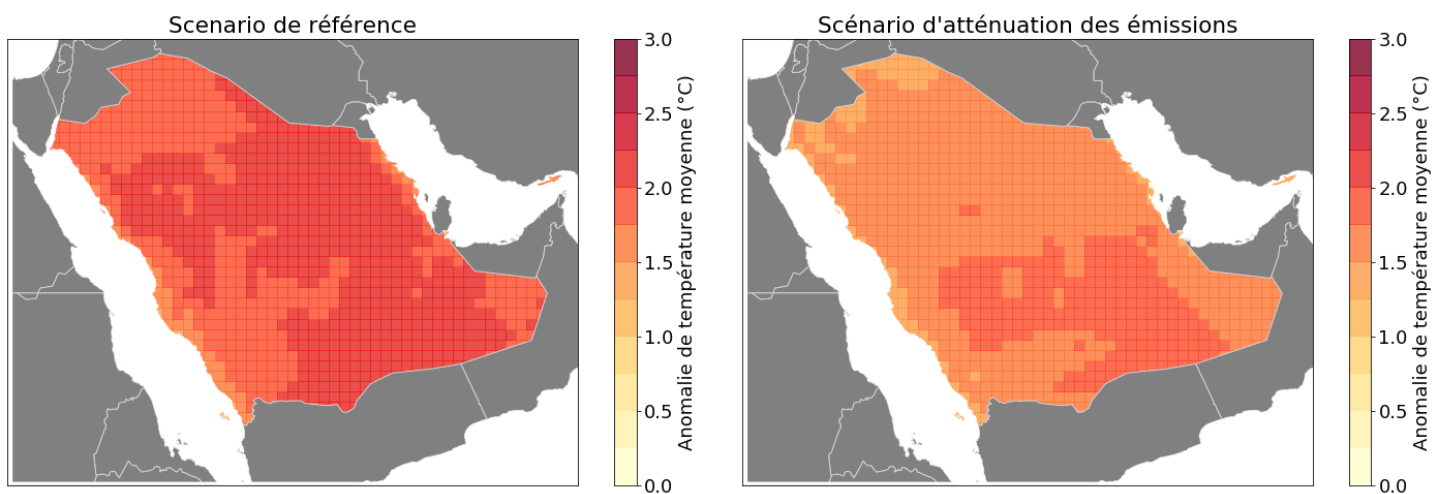


Figure 1 : Evolution de la température moyenne entre 2020 et 2049 comparé à 1976-2005 avec (gauche) et sans (droite) réduction des émissions

L'augmentation de température est globalement plus importante pendant les mois de février à septembre, y compris la période estivale qui est déjà la plus chaude

## Evolutions locales de la température

Le tableau ci-dessous détaille l'évolution de la température moyenne annuelle pour quelques sites importants dans l'activité de Saudi Aramco en Arabie Saoudite :

	Scénario de référence			Scénario d'atténuation		
	Projection médiane	Projection haute	Projection basse	Projection médiane	Projection haute	Projection basse
Ras Tanura Raffineries et terminal	+1.5°C	+2.3°C	+1.2°C	+1.4°C	+1.8°C	+1.2°C
Yanbu Raffineries et terminal	+1.6°C	+2.2°C	+1.2°C	+1.3°C	+1.8°C	+1.1°C
Ghawar Gisement	+2.0°C	+2.5°C	+1.3°C	+1.7°C	+2.1°C	+1.3°C
Safaniyah Gisement off-shore	+1.6°C	+2.3°C	+1.2°C	+1.4°C	+2.0°C	+1.2°C

Figure 2 : Evolution de la température entre 2020 et 2049 comparé à 1976-2005 en moyenne annuelle pour la projection médiane, le modèle le plus pessimiste et le modèle le plus optimiste

## Productivité et conditions de travail

L'effet négatif des températures élevées sur la productivité du travail est largement documenté. Une température supérieure à 35°C surtout avec un fort taux d'humidité entraîne un stress thermique qui restreint les fonctions et les capacités physiques des travailleurs et donc la productivité. Dans un scénario d'émissions optimiste (RCP2.6), l'Organisation Internationale du Travail estime qu'en 2030 la chaleur fera perdre à l'industrie saoudienne l'équivalent de 0.8% des heures de travail (contre 0.3% en 1995)<sup>ix</sup>. Ces pertes seront plus élevées pour les travaux en extérieur, avec par exemple 1.6% des heures de travail perdues dans la construction, et dans les régions côtières en raison d'une humidité plus importante. La chaleur est de plus associée à un risque accru d'accidents du travail et de malaises<sup>x, xi</sup>.

Les températures élevées représentent en particulier une contrainte forte sur l'organisation du travail, susceptible de limiter voire d'éliminer complètement les capacités d'intervention en extérieur lors des vagues de chaleur. Le stress thermique augmentant rapidement en été dès le lever du soleil<sup>xii</sup>, les travaux pénibles doivent donc être effectués tôt en matinée voire avant le lever du jour, les interventions lourdes ne pouvant être interrompues pendant des durées supérieures à 8h doivent être suspendues pendant les vagues de chaleur. Il est notable que la réglementation saoudienne interdit le travail en extérieur entre 12h et 15h sauf dans le secteur pétrolier<sup>xiii</sup>.

Le Royaume d'Arabie Saoudite a en outre pris des mesures réglementaires pour arrêter les travaux lorsque les températures dépassent 50°C. Ce seuil autrefois rarement atteint devrait être dépassé plusieurs fois par an à l'horizon 2035 sur la côte orientale, où sont situés la plupart des gisements exploités par Saudi Aramco.

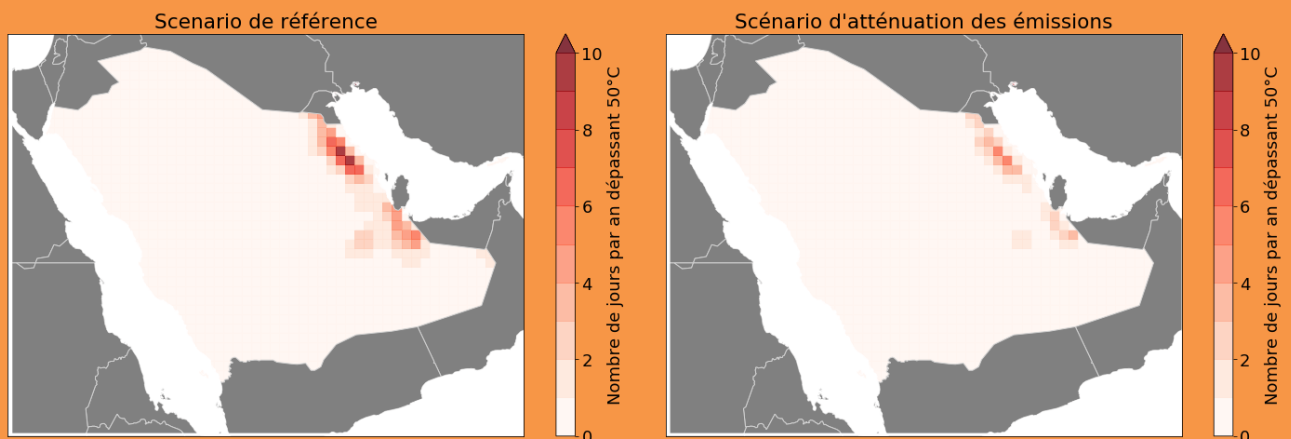


Figure 3: Nombre annuel moyen de jours avec une température dépassant 50°C entre 2020 et 2050 avec (gauche) et sans (droite) réduction d'émissions

Dans la région de Ghawar, le plus important gisement de pétrole du pays, par exemple, la projection médiane indique un dépassement du seuil de 50°C 2 jours par an en moyenne entre 2020 et 2050 dans le scénario de référence. Cependant plusieurs modèles donnent une fréquence nettement plus élevée, comprise entre 6 et 10 jours par an en moyenne. Une étude statistique plus détaillée serait nécessaire pour évaluer précisément ce phénomène.



# Élévation du niveau des océans

## Origine et nature des risques

D'après le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat, la hausse moyenne du niveau des océans a été de 3.6 mm par an entre 2006 et 2015. Cette hausse devrait se poursuivre et atteindre 4 à 15 mm par an en 2100 selon le scénario d'émissions<sup>xiv</sup>.

Cette hausse globale n'est pas uniformément répartie et varie localement, y compris en fonction de facteurs non climatiques (mouvement de terrain, affaissements suite à l'extraction de ressources, dépôts de sédiments naturels ou d'origine humaine...). **Les données locales disponibles indiquent que le niveau de la mer augmente rapidement dans le Golfe Persique<sup>xv</sup> et que les côtes saoudiennes sont vulnérables en raison de leur faible élévation<sup>xvi</sup>.**

Au-delà de la perspective d'une submersion permanente, cette hausse entraîne plusieurs risques pour les installations côtières : inondations plus fréquentes, érosion, intrusion de sel, hausse du niveau des nappes d'eau souterraines... Ces risques se matérialisent déjà en Arabie Saoudite : des inondations et une élévation des eaux souterraines sont régulièrement observés dans les zones industrielles de Dammam, les routes et les fondations des bâtiments sont régulièrement endommagées<sup>xvii</sup>.

Pour les installations pétrolières, ces phénomènes entraînent des risques comparables à ceux des crues, notamment un risque d'érosion des sols et d'exposition des réseaux d'hydrocarbures souterrains. La teneur en sel de l'eau rend de plus ces inondations particulièrement dommageables pour les infrastructures et les équipements industriels.

## Risques et coûts significatifs dès 2030

**La hausse du niveau de la mer dans le Golfe Persique, où sont localisées beaucoup des opérations de Saudi Aramco, devrait être rapide** comparée aux autres régions du monde. Sur la côte est de l'Arabie Saoudite, la projection de référence<sup>xviii</sup> indique une hausse médiane de 14 centimètres en 2030 comparé à 2000 avec un intervalle de confiance à 90% entre +2 cm à +26 cm dans le scénario de référence et de +13 cm [+4, +22] dans un scénario de réduction des émissions. Des évaluations incluant une modélisation plus précise du comportement des calottes glaciaires confirment cet ordre de grandeur<sup>xix</sup>.

La vulnérabilité des installations côtières face à ce phénomène dépend de leur élévation au dessus du niveau de la mer. D'après les données d'élévation corrigées publiées récemment<sup>xx</sup>, la hausse du niveau de la mer devrait modifier significativement

l'environnement de certaines installations exploitées par Saudi Aramco. La région de Ras Tanura en particulier pourrait être largement submergée à l'horizon 2030, y compris la partie nord de la presqu'île où se trouvent l'ensemble des accès actuels, l'aéroport et certaines installations périphériques. Les environs des raffineries de Yanbu, y compris les routes d'accès au sud et une partie de la ville pourraient aussi être submergés de façon permanente. C'est aussi le cas pour la ville de Jazan.

Concernant les installations elles-mêmes, **la raffinerie et le terminal de Ras Tanura et certaines installations de Yanbu, dont le site de Luberef, pourraient faire face à des submersions temporaires avec un temps de retour d'un an environ dès 2030.** Hors d'Arabie Saoudite, les raffineries Motiva de Port-Arthur (Etats-Unis) et FREP de Quanzhou (Chine) sont également exposées à des inondations plus fréquentes.

Au-delà des dommages créés par les inondations et des pertes de production, la hausse du niveau de la mer va nécessairement entraîner des **coûts importants de protection et d'adaptation et un renchérissement des primes d'assurances** pour les installations côtières.

Des données d'élévation non-corrigées font apparaître des risques beaucoup moins importants. Cependant ces données, basées sur des observations satellites surestiment fréquemment l'élévation. Il serait donc utile d'effectuer des relevés locaux afin d'évaluer précisément le risque et de mettre en place une stratégie d'adaptation.

# Inondations et crues

## Origine et nature des risques

Les inondations constituent le principal risque naturel sur le territoire saoudien<sup>xxi</sup>. Malgré un climat aride et l'absence de fleuve permanent, l'Arabie Saoudite possède de nombreux oueds. Ces cours d'eau intermittents se caractérisent par des crues violentes parfois accompagnées de coulées de boues.

Ce phénomène peut représenter un risque significatif pour les installations pétrolières et les infrastructures en général. Dans le secteur pétrolier, un risque d'inondation entraîne la mise en œuvre des procédures de mise en sécurité par arrêt des unités. Ces arrêts préventifs sont destinés à éviter un arrêt sur incident, beaucoup plus coûteux en termes de mise à l'atmosphère d'hydrocarbures et de dommages aux équipements : le coût d'un incident de ce type est rarement inférieur à 10 millions de dollars. **Cette procédure a par exemple été mise en œuvre lors des inondations de 2011 dans une des raffineries de Yanbu, sur la côte ouest de l'Arabie Saoudite<sup>xxii</sup>.**

Les inondations sont également une menace pour les installations de transport. Les sections aériennes des oléoducs et des gazoducs (franchissement d'obstacles, stations de pompage, valves...) sont particulièrement exposées. Les sections souterraines peuvent aussi subir des dommages en particulier lorsque la vitesse d'écoulement de l'eau est suffisamment importante pour éroder le sol et exposer les tuyauteries. Des accidents de ce type ont eu lieu par exemple au Portugal en 2000<sup>xxiii</sup> ou au Texas en 1994<sup>xxiv</sup>.

## Cas de la raffinerie Motiva de Port-Arthur (Etats-Unis)

Hors d'Arabie Saoudite, le risque d'inondation est particulièrement marqué pour la raffinerie de Port-Arthur dont Saudi Aramco est propriétaire à 100% depuis 2017 via sa filiale Motiva. Cette raffinerie, la plus grande d'Amérique du Nord avec une capacité de 600 000 barils par jour, a notamment été inondée en 2017<sup>xxv</sup> et 2016<sup>xxvi</sup>. Le risque est suffisamment important pour avoir été pris en compte dans les décisions d'investissement : Motiva s'est donné pour objectif d'atteindre une capacité de raffinage de 1 à 1.5 millions de barils par jour sur le territoire américain mais l'entreprise a **renoncé en 2018 à étendre la raffinerie de Port-Arthur** et recherche un autre site<sup>xxvii</sup>.

## Augmentation possible des risques liés aux crues

L'étude des zones inondables d'Arabie Saoudite<sup>xxviii</sup> permet de distinguer deux risques : un risque certain pour le complexe pétrochimique de Yanbu et des risques incertains ou indirects notamment pour le terminal et la raffinerie de Ras Tanura, la raffinerie de Jazan et la raffinerie de Riyadh. L'oléoduc et le gazoduc est-ouest, reliant Ras Tanura à Yanbu sont également susceptibles d'être exposés à des dommages lors de crues.

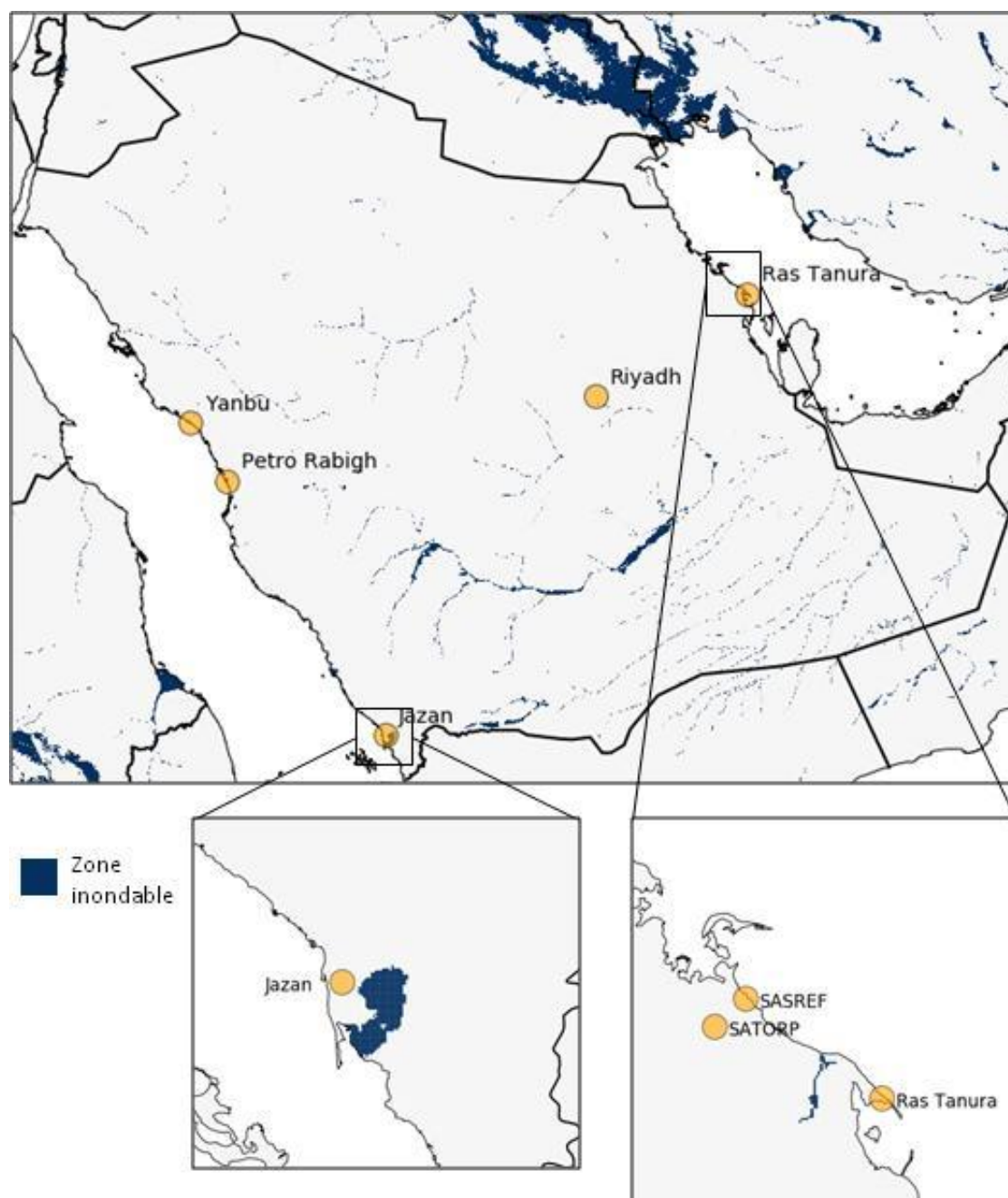


Figure 4 : Carte des zones inondables d'Arabie Saoudite (temps de retour 50 ans) et principaux sites exploités par Saudi Aramco

Le complexe pétrochimique de Yanbu sur la Mer rouge est bordé au nord par une zone inondable. Ce complexe comprend notamment 3 raffineries, copropriétés de Saudi Aramco et de Mobil, Exxon et Sinopec respectivement, pour une capacité totale de 1 200 000 barils par jours. Ses opérations ont déjà du être suspendues lors de crues précédentes.

Les raffineries de Ras Tanura et Riyadh sont également situées à proximité de zones inondables. Sans menacer directement les installations, les crues peuvent avoir un impact indirect en touchant les infrastructures (routes, lignes électriques, oléoducs et gazoducs) voisines de ces raffineries. C'est particulièrement le cas pour la raffinerie et le terminal de Ras Tanura situés sur une presqu'île dont l'accès est en partie fermé par une zone inondable. La nouvelle raffinerie de Jazan, dont la mise en service doit s'achever en 2019, est également bordée au sud et à l'est par une plaine inondable.

Le régime hydrologique très irréguliers des oueds est presque entièrement lié à celui des précipitations, **l'évolution du risque de crue sur le territoire saoudien dans le contexte du changement climatique dépend donc de celle du régime de précipitations** et en particulier de la fréquence et de l'intensité des épisodes de précipitations intenses et/ou prolongées. **Une intensification des épisodes pluvieux en saison humide est discernable dans les observations météorologiques<sup>xxix</sup>**. Les modèles climatiques indiquent que cette tendance devrait se poursuivre pour la région de Jazan et plus généralement le massif de l'Assir, le long de la Mer Rouge, où les précipitations pendant 5% de jours les plus pluvieux devraient augmenter sensiblement. Ils ne donnent pas de signal clair pour le reste du territoire.

# Ressource en eau douce

## Origine et nature des risques

L'eau est indispensable à l'industrie pétrolière en particulier aux stades de la production et du raffinage. Dans la production, l'eau est utilisée pour le refroidissement des machines, par exemple des foreuses, et l'évacuation des boues et des débris. De l'eau peut également être injectée dans les puits afin d'en augmenter la pression et de stimuler la récupération d'hydrocarbures, cette pratique est fréquente en Arabie Saoudite. **La fracturation hydraulique est également très consommatrice en eau, Saudi Aramco a récemment investi dans cette technique y compris par construction d'une nouvelle usine de désalinisation<sup>xxx</sup>.**

De l'ordre d'une tonne d'eau est nécessaire pour produire une tonne de produits raffinés. Toute restriction sur la capacité de puisement des nappes phréatiques ou de dessalement d'eau de mer réduit donc les capacités de raffinage ou nécessite des investissements dans l'amélioration des circuits de recyclage des condensats vapeur voire l'amélioration de l'efficacité des dessaleurs et stripeurs.

## Le système eau-énergie saoudien

En raison de l'aridité du climat et de ressources fossiles limitées, l'Arabie Saoudite dépend d'usines de désalinisation pour environ 70% de sa consommation d'eau<sup>xxxii</sup>. Cette particularité crée une très forte interdépendance entre la production d'eau et la production d'hydrocarbures :

- La désalinisation nécessite de l'énergie, généralement sous la forme d'électricité. En Arabie Saoudite celle-ci est produite pour deux tiers environ à partir de pétrole et pour un tiers à partir de gaz. Les usines de désalinisations absorbent ainsi une part importante de la consommation domestique de pétrole<sup>xxxiii</sup>. La disponibilité et le prix de l'eau sont donc corrélés à ceux des hydrocarbures.
- La production des hydrocarbures de son côté est le deuxième consommateur d'eau du pays derrière l'agriculture. De l'eau dessalée est également nécessaire au refroidissement des turbines utilisées dans la production d'électricité.

**Cette interdépendance forme un système eau-énergie dont le taux de retour énergétique (EROEI) est plus faible que celui de la chaîne pétrolière seule et peut limiter le recours à des techniques dont l'EROEI est déjà faible comme la fracturation hydraulique.**

Selon certaines analyses, ce système n'est pas soutenable à moyen terme : même sans tenir compte des effets du changement climatique, la production pétrolière saoudienne pourrait n'être pas suffisante pour satisfaire la croissance de ses besoins en eau d'ici deux décennies<sup>xxxiii</sup>. En abandonnant la production de blé après plusieurs décennies d'efforts pour atteindre l'autosuffisance<sup>xxxiv</sup>, l'Arabie Saoudite a en tous cas donné un signal clair des conflits d'usage à l'œuvre autour de l'eau et de la priorité accordée aux besoins industriels et résidentiels sur l'agriculture.

Le rendement des centrales thermiques utilisées pour produire l'électricité nécessaire à la désalinisation baisse lorsque la température augmente. La hausse de la température de l'eau au-delà de 30°C et l'augmentation de sa concentration en sel peuvent également dégrader l'efficacité des usines de désalinisation et augmenter leur consommation d'énergie<sup>xxxv, xxxvi</sup>. **A technologie constante, le réchauffement du climat devrait donc entraîner une augmentation de la quantité d'énergie nécessaire à la production d'eau dessalée et une dégradation du rendement du système eau-énergie saoudien.**

## Evolution des précipitations et de l'aridité

Le changement climatique devrait se traduire en moyenne par une augmentation des précipitations en Arabie Saoudite avec des baisses localement surtout dans les régions côtières et le nord du pays.

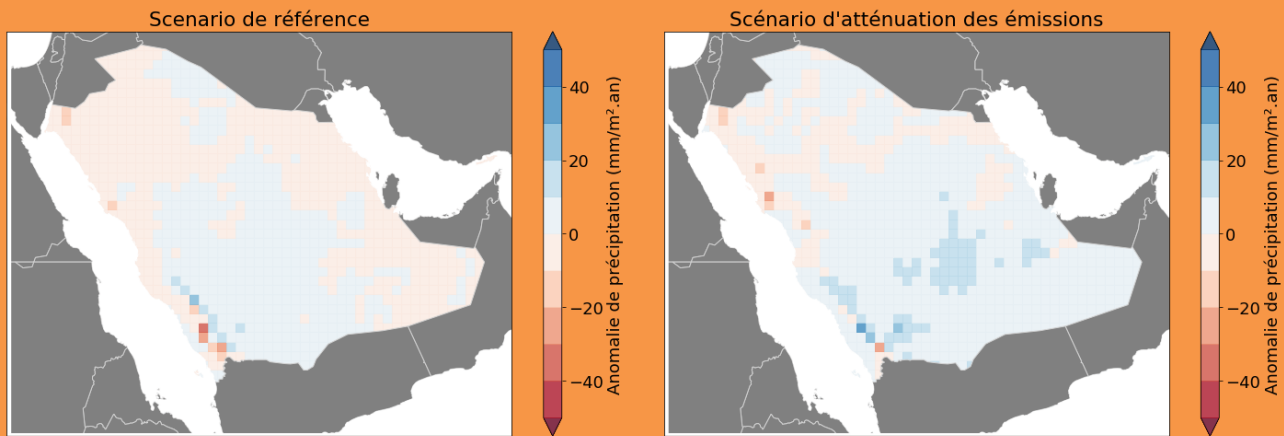


Figure 5 : Anomalie de précipitations annuelles sur la période 2020-2049 comparée à 1976-2005 (mm/m<sup>2</sup>.an) avec (droite) et sans (gauche) réduction d'émissions

L'augmentation de la température et donc de l'évaporation devrait toutefois compenser celle des précipitations. A l'horizon 2020-2050, les projections climatiques indiquent une augmentation de l'aridité dans presque tout l'ensemble du pays pour un scénario d'émissions élevées, dans la moitié nord et sur la côte de la mer rouge dans un scénario intermédiaire.

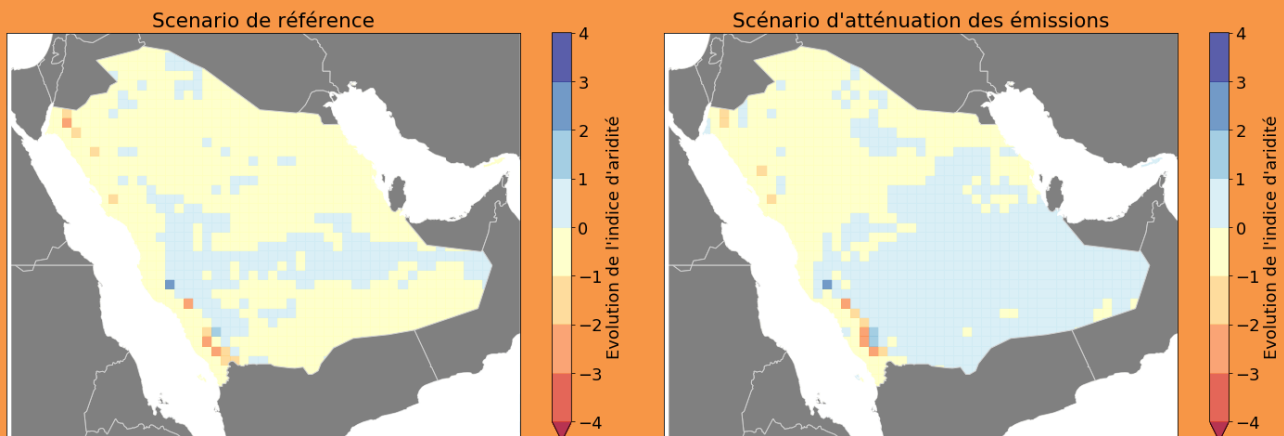


Figure 6 : évolution de l'indice d'aridité de Martonne sur la période 2020-2049 comparée à 1976-2005 avec (droite) et sans (gauche) réduction d'émissions

**La ressource en eau de surface devrait donc baisser autant en quantité qu'en qualité<sup>xxxvii</sup>.** Cette évolution pourrait contribuer à accentuer le stress hydrique et les conflits d'usage. Cependant compte-tenu de la faible part des eaux de surface dans la consommation saoudienne, ses effets directs sur l'activité de Saudi Aramco dans le pays devrait rester limités.



# Conclusion

Cette première évaluation montre que le changement climatique représente un risque significatif pour Saudi Aramco à l'horizon des deux prochaines décennies. La hausse des températures et les événements climatiques extrêmes, principalement les inondations, peuvent endommager les installations et réduire leurs disponibilités et leurs rendements, surtout au stade du raffinage. Les vagues de chaleurs peuvent perturber aussi bien le travail en extérieur que de nombreux équipements sensibles. La compétition pour l'accès à l'eau douce et la hausse du niveau de la mer vont probablement créer de nouveaux coûts et peuvent limiter les perspectives de développement de l'entreprise.

		Production		Raffinage		
		Ghawar Réserves : 58 Mds barils	Safaniyah Réserves : 34 Mds barils	Ras Tanura Capacité : 550 000 barils/j	Yanbu Capacité : 1 200 000 barils/j	Port Arthur Capacité : 600 000 barils/j
Température	Condition de travail	Exposition forte	Exposition forte	Exposition modérée	Exposition modérée	Exposition faible
	Disponibilité des installations	Exposition modérée	Exposition modérée	Exposition modérée	Exposition modérée	Exposition faible
	Rendement des installations	Exposition modérée	Exposition modérée	Exposition forte	Exposition forte	Exposition modérée
Précipitations	Disponibilité des installations	Exposition faible	Exposition faible	Exposition modérée	Exposition modérée	Exposition forte
	Disponibilité d'eau douce	Exposition forte	Exposition forte	Exposition forte	Exposition forte	Non concerné
Niveau de la mer	Dommages aux installations côtière	Non concerné	Non concerné	Exposition forte	Exposition modérée	Exposition modérée
	Submersion permanente	Non concerné	Non concerné	Exposition forte	Exposition forte	Exposition faible

Figure71 : Risques climatiques pour des installations clés exploitées par Saudi Aramco

Ce rapport identifie également des informations manquantes et des axes de recherche complémentaires. En particulier, il serait utile de :

- Cartographier les températures de fonctionnement des équipements utilisés dans la chaîne de valeur l'entreprise afin d'identifier et éventuellement d'adapter les process qui sont les plus exposés à la hausse des températures,
- Evaluer plus précisément la fréquence et l'intensité des futurs épisodes de pluie et de chaleur intenses,
- Effectuer des relevés d'élévation pour déterminer la vulnérabilité des installations côtières face à la hausse du niveau de la mer et évaluer la faisabilité et le coût des moyens de protection,

- Evaluer le niveau de convergence des modèles et les queues de probabilité afin d'identifier éventuellement des événements moins probables mais plus dommageables,
- Etendre l'étude aux risques indirects susceptibles, par exemple, de toucher Saudi Aramco, par exemple, au travers de ses parties-prenantes ou d'un accroissement des tensions dans la région.

Nous pensons que ces informations aideraient à donner une évaluation plus juste de la valeur à long-terme de Saudi Aramco. Elles pourraient de plus être profitables à l'entreprise en lui donnant dès-à-présent l'opportunité d'adapter ses opérations aux effets du changement climatique.

# Annexe méthodologique

Sauf mention contraire, les valeurs présentées dans cette fiche correspondent aux projections médianes pour un échantillon de 7 jeux de données issus de l'expérience CORDEX. Ces projections sont réalisées en combinant deux modèles : un modèle climatique général (GCM), qui simule l'évolution du climat à l'échelle mondiale en fonction du scénario d'émissions choisi, et un modèle climatique régional (RCM), qui permet d'obtenir une meilleure résolution spatiale. La résolution spatiale des projections utilisées est de 0.44° soit environ 50km.

Les jeux de données qui ont été utilisés sont les suivants :

Modèle climatique général	Modèle climatique régional	Pas de temps
CNRM-CERFACS-CM5	SMHI-RCA4	Journalier
IPSL-CMA5-MR	SMHI-RCA4	Journalier
MIROC-MIROC5	SMHI-RCA4	Journalier
MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4	Journalier
NCC-NorESM1-1	SMHI-RCA4	Journalier
NOAA-GFDL-ESM2M	SMHI-RCA4	Journalier
QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	SMHI-RCA4	Journalier

L'utilisation d'ensembles multi-modèles permet de réduire l'incertitude liée aux imperfections des modélisations. L'approche par la médiane permet d'éviter une surpondération des modèles divergents. Lorsque cela est apparu nécessaire, les extrêmes ont cependant été mentionnés pour donner une évaluation du niveau de convergence des modèles.

Deux scénarios d'émissions issus du 5e rapport du GIEC ont été utilisés afin de prendre en compte l'incertitude existant sur les actions futures de réduction des émissions de gaz à effet de serre :

- Le scénario RCP8.5 ("scenario de référence") représentatif d'une prolongement des tendances actuelles et conduisant à une concentration en CO<sub>2</sub> supérieure à 1370 ppm en 2100 (contre 280 environ en 1750).
- Le scénario RCP4.5 ("scenario d'atténuation des émissions") qui aboutit à une stabilisation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère autour de 650 ppm en 2100 ce qui implique des efforts significatifs pour transformer les systèmes énergétiques, l'usage des sols et l'économie mondiale.

Les valeurs utilisées sont des moyennes sur une période de 30 ans (1er janvier 1976 - 31 décembre 2005 pour la période de référence, 1er janvier 2020 - 31 décembre 2049 pour les projections). Cette période longue est destinée à limiter les incertitudes liées à la variabilité naturelle du climat.

Bibliographie :

Giorgi & al. (2009). *Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework*. WMO Bulletin.

Hawkins & al. (2010). *The potential to narrow uncertainty in projections of regional precipitation change*. Climate Dynamics

Kreienkamp & al. (2012). *Good practice for the usage of climate model simulation results - a discussion paper*. Environmental Systems Research.

- 
- <sup>i</sup> Financial Times. (04/11/2019). *Wall St banks give Saudi Aramco vast valuation range*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>ii</sup> Callendar. (29 décembre 2017). *Adaptation et vulnérabilité climatique : Houston face à l'ouragan Harvey*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>iii</sup> Udie, J. & al. (2018). *A Conceptual Framework for Vulnerability Assessment of Climate Change Impact on Critical Oil and Gas Infrastructure in the Niger Delta*. *Climate*, 6, 11; doi:10.3390/cli6010011
- <sup>iv</sup> Udie, J. & al. (2018). *A Conceptual Framework for Vulnerability Assessment of Climate Change Impact on Critical Oil and Gas Infrastructure in the Niger Delta*. *Climate*, 6, 11; doi:10.3390/cli6010011
- <sup>v</sup> Karimi, A. & al. (2009). *Selective dehydration of high-pressure natural gas using supersonic nozzles*. *Chem. Eng. Process.* 48, 560–568.
- <sup>vi</sup> Al Arabiya. (23/07/2017). *Saudi refinery operations not affected by transformer fire*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>vii</sup> Pal, J. & al. (2016). *Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability*. *Nature Climate Change*, vol. 6. [\[en ligne\]](#)
- <sup>viii</sup> Almazroui, M. & al. (2013). *Urbanization effects on the air temperature rise in Saudi Arabia*. *Climatic Change* 120: 109. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0796-2>
- <sup>ix</sup> International Labour Organization. (2019). *Increase in heat stress predicted to bring productivity loss equivalent to 80 million jobs*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>x</sup> Joshi, S. & al. (2011). *Health problems of Nepalese migrants working in three Gulf countries*. *BMC International Health and Human Rights* volume 11. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xi</sup> Noweir, M. A. & al. (2008). *Study of summer heat exposure at the ground services operations of a main international airport in Saudi Arabia*. *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 145, Issue 1–3, pp 103–111
- <sup>xii</sup> Al-Bouwarthan, M. & al. (2019). *Assessment of Heat Stress Exposure among Construction Workers in the Hot Desert Climate of Saudi Arabia*. *Annals of Work Exposures and Health*, Volume 63, Issue 5, June 2019, Pages 505–520. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xiii</sup> BBC. (15/06/2014). *Saudi Arabia law to protect outdoor workers from sun*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xiv</sup> IPCC. (2019). *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xv</sup> Ayhan, M. & al. (2009). *Sea level rise within the west of Arabian Gulf using tide gauge and continuous GPS measurements*. *Geophysical Research Abstracts*. 11.
- <sup>xvi</sup> Suresh Babu, D.S. (2011). *Need for adaptation strategy against global sea level rise: an example from Saudi coast of Arabian gulf*. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 17:821–836
- <sup>xvii</sup> Suresh Babu, D.S. (2011). *Need for adaptation strategy against global sea level rise: an example from Saudi coast of Arabian gulf*. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 17:821–836
- <sup>xviii</sup> Kopp, R. & al. (2014). *Probabilistic 21st and 22nd century sea-level projections at a global network of tide-gauge sites*. *Earth Future* Volume2, Issue8 Pages 383-406 [\[en ligne\]](#)
- <sup>xix</sup> Kopp, R. & al. (2017). *Evolving Understanding of Antarctic Ice - Sheet Physics and Ambiguity in Probabilistic Sea - Level Projections*. *Earth Future* Volume5, Issue12 Pages 1217-1233. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xx</sup> Kulp, S. & al. (2019). *New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding*. *Nature Communications* volume 10, Article number: 4844. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxi</sup> Alamri, Y. (2010). *Emergency Management in Saudi Arabia: Past, Present and Future*. *Comparative Emergency Management: understanding disaster policies, organizations and initiatives from around the world*. Federal Emergency Management Agency. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxii</sup> Bloomberg. (02/02/2011). *Saudi Aramco says Jeddah refinery not affected by heavy floods*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxiii</sup> Cruz, A.M. & al. (2013). *Vulnerability of the oil and gas sector to climate change and extreme weather events*. *Climatic Change* 121:41–53
- <sup>xxiv</sup> National Transportation Safety Board. (1996). *Pipeline Special Investigation Report: Evaluation of Pipeline Failures during Flooding and of Spill Response Actions, San Jacinto River near Houston, Texas, October 1994* (PB96-917004, NTSB/SIR-96/04).
- <sup>xxv</sup> CNBC. (30/08/2017). *Motiva shuts Port Arthur Texas refinery due to flooding*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxvi</sup> Reuters. (18/08/2016). *Exxon, Motiva refineries continue reduced operations amid floods*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxvii</sup> Reuters. (04/06/2018). *Exclusive: Hurricane worries prompt refiner Motiva to shift expansion plans*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxviii</sup> EC Joint Research Centre. (2018). *Saudi Arabia - Flood Hazard 50 yr Return Period*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxix</sup> Subyani, A. M. & al. (2016). *Rainfall analysis in the context of climate change for Jeddah area, Western Saudi Arabia*. *Arab J Geosci* 9: 122.
- <sup>xxx</sup> Bloomberg. (29/04/2019). *Saudi Aramco Sees Shale Gas as Kingdom's Next Energy Bonanza*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxxi</sup> Rambo, K. A. & al. (2017). *Water-Energy Nexus in Saudi Arabia*. *Energy Procedia* 105: 3837–3843 [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxxii</sup> Ali Mahmoud, M.S. & al. (2013). *Water-demand management in the Kingdom of Saudi Arabia for enhancement environment*. *Comp Eng Intel Syst*, 4, pp. 26-49
- <sup>xxxiii</sup> Rambo, K. A. & al. (2017). *Water-Energy Nexus in Saudi Arabia*. *Energy Procedia* 105: 3837–3843 [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxxiv</sup> World Grain. (18/03/2016). *Saudi Arabia ends domestic wheat production program*. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxxv</sup> Wilf, M. & al. (2005). *Optimization of seawater RO systems design*. *Desalination* Volume 173, Issue 1, 1 Pages 1-12. [\[en ligne\]](#)
- <sup>xxxvi</sup> Suresh Babu, D.S. (2011). *Need for adaptation strategy against global sea level rise: an example from Saudi coast of Arabian gulf*. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 17:821–836
- <sup>xxxvii</sup> Chowdhury, S. & al. (2013). *Implications of Climate Change on Water Resources in Saudi Arabia*. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 38, Issue 8, pp 1959–1971.

# Auteurs



[Contact mail](#) 

**Thibault Laconde** est président et fondateur de Callendar, une start-up spécialisée dans l'utilisation de données ouvertes pour l'évaluation des risques liés à l'évolution du climat. Avant de se spécialiser dans la lutte contre le changement climatique, il a été analyste à la direction de la stratégie du Ministère de la Défense et a travaillé sur la préparation et la réponse aux catastrophes naturelles et aux crises humanitaires dans plusieurs pays d'Afrique et d'Asie. Il est titulaire d'un master de sciences politiques (Paris Sorbonne) et diplômé de Supelec, où il est depuis 2017 chargé du cours "transition climatique".



[Contact mail](#) 

**Francis d'Auriac**, diplômé Centrale Paris, MIT et ISG, a exercé de nombreuses responsabilités dans le secteur pétrolier : réduction de la consommation d'énergie du raffinage, automatisation, contrôle de gestion, négoce et logistique de produits pétroliers, électricité et gaz naturel. Il a notamment été directeur financier de la joint-venture Aramco-Total puis directeur du centre de profit des cogénérations, stratégie biomasse du groupe Total. Il a créé en 2016 Energie Conseil Plus pour conseiller les entreprises et investisseurs dans la transition énergétique, l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'introduction des énergies renouvelables et le développement des projets de réseaux intelligents multi-énergies multi-acteurs.

## Contact :

[contact@callendar.climint.com](mailto:contact@callendar.climint.com)

[www.callendar.climint.com](http://www.callendar.climint.com)