

Université Libre de Bruxelles

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
Faculté des Sciences
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

**Dégel du permafrost en Alaska et en Sibérie :
Causes, impacts et infrastructures.**

Mémoire de Fin d'Études présenté par
d'HOOP de SYNGHEM, Yolaine
en vue de l'obtention du grade académique de
Master en Sciences et Gestion de l'Environnement
Finalité Gestion de l'Environnement M-ENVIG

Année académique 2020-2021

Directeur : Frank PATTYN

Promoteur : Edwin ZACCAÏ

RESUMÉ

Le changement climatique et ses conséquences impactent tous les écosystèmes mais c'est dans les pôles que ces changements sont les plus exacerbés. L'augmentation de la température dans l'Arctique par rapport à l'ère préindustrielle est en moyenne deux fois plus élevée que partout ailleurs. Un des impacts les plus problématiques est le dégel du permafrost. Les États-Unis et la Russie ont tous deux des régions situées en Arctique. Le territoire de l'Alaska et de la Sibérie est respectivement recouvert à 80% et 65% de permafrost, dont la fonte est à la fois la cause et la conséquence d'une multitude de modifications environnementales. En effet, les océans se réchauffent, la glace de mer disparaît, le niveau de la mer monte, les terres s'érodent, le carbone et autres virus enfermés depuis des siècles se libèrent. Il y a également une modification des systèmes lacustres, de la couche neigeuse, de la couche nuageuse, de la végétation et des espèces animales. Les différents scénarii avancés par les scientifiques prévoient une exacerbation plus ou moins rapide de ces causes et conséquences du dégel du permafrost.

Au centre de cela se trouve l'impact des infrastructures humaines. Depuis la révolution industrielle, l'Homme s'est découvert une soif sans fin pour les énergies fossiles et autres matières premières enfouies dans le sol. Depuis lors, il cherche, mine et transforme pour satisfaire cet insatiable désir. L'Alaska et la Sibérie sont deux régions très riches, entre autres, en pétrole, gaz, charbon, minerais, et métaux précieux. L'industrie d'extraction y est par ailleurs la base de l'économie locale. Les multiples infrastructures nécessaires pour que l'Homme puisse vivre dans ces régions hostiles impactent énormément leur environnement et le permafrost. Ainsi, ces infrastructures polluent les sols, les rivières et l'atmosphère, réchauffent le permafrost, augmentent la possibilité d'introduction d'espèces envahissantes, etc.. Le dégel du permafrost et autres conséquences du dérèglement arctique provoque l'effondrement des habitations, une relocalisation des populations, le mauvais fonctionnement des infrastructures économiques, la destruction des routes etc.. Les conséquences du changement climatique auront un coût important, estimé à 5.5 milliards de dollars pour l'Alaska d'ici la fin du siècle, et entre 5% et 6% du PIB Russe pour la Sibérie à l'horizon 2030.

Tous les impacts du changement climatique pourraient cependant être atténués si une réponse politique, économique et sociale forte est mise en place. Cependant, à l'heure actuelle, ces deux régions continuent d'extraire le plus possible de leurs sols sans montrer le moindre signe de ralentissement.

Mots-clés : Permafrost, dégel, Alaska, Sibérie, Infrastructure humaine,

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier chaleureusement

Mes professeurs Monsieur Frank Pattyn et Monsieur Edwin Zaccàï pour avoir accepté de me suivre
lors de la rédaction de ce travail et pour leurs disponibilités, aides et conseils avisés.

Ma maman, ma sœur et Monsieur Tanguy de Walque pour leurs précieuses relectures.

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	Définition du terme
C	Carbone
CC	Changement Climatique
CEO	Chief Executive Officer
CGM	Couverture de la Glace de Mer
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
GES	Gaz à Effet de Serre
GLWD	Global Lake and Wetland Database
NGFS	Network for Greening the Financial System
OGCI	Oil & Gas Climate Initiative
ONG	Organisation Non-Gouvernementale
Pg	Pétagramme (10 ¹² Kg)
PIB	Produit Intérieur Brut
RCP	Representative Concentration Pathway
RSPP	Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs
TAPS	Trans-Alaska Pipeline System
TAS	Température de l'Aire en Surface
Tg	Téragramme (10 ⁹ Kg)
URSS	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
USACE	United States Army Corps of Engineers
ZAA	Zéro Amplitude Annuelle

GLOSSAIRE

Cryosphère	Ensemble des surfaces sur terre ou en mer où de l'eau est présent sous forme solide (exemple : glaciers, permafrost, calottes, banquise,...)
Glace de mer	Ou banquise est une couche de glace pouvant atteindre 2m d'épaisseur et qui flotte sur la surface des eaux (en général sur les mers mais également sur d'autres points d'eau). Elle a une durée de vie qui varie de 1 an à plus de 4 ans.
Lac thermokarstique	Lac occupant une dépression close formée par le thermokarst
Palse	Tertre de tourbe ayant un noyau gelé en permanence. On les retrouve principalement dans du permafrost discontinu. Ils peuvent atteindre 12m de hauteur.
Polynies	Zone d'eau libre ou recouverte d'une mince couche de glace au sein d'une banquise (Futura planète 2020)
RCP _{RCP 2,6 ; RCP 4,5 ; RCP 6,0 ; RCP 8,5}	Sont quatre scénarii de trajectoires futures concernant l'évolution du forçage radiatif à l'horizon 2300 établis par le GIEC. RPC 8,5 est le plus pessimiste
Talik	Masse ou couche de sol non gelée se trouvant dans une zone de permafrost en raison d'une anomalie locale (thermique, hydrologique, hydrogéologique, hydrochimique) (NSIDC, 2020)
Thermokarst	Processus de la formation de dépressions causées par le dégel du permafrost riche en glace ou la fonte de glace massive
Yedoma	Un type de permafrost du Pléistocène (-1,8 million jusqu'à -10.000 ans avant notre ère) riche en matière organique et en eau (50% à 90% du volume)

LISTE FIGURES

Fig. 3.1. Profil vertical schématique de la température à travers le permafrost	5
Fig. 3.2. Présentation des zones de permafrost	6
Fig. 3.3. L'étendue mensuelle moyenne de la glace de mer.....	8
Fig. 3.4. La couverture neigeuse	9
Fig. 3.5. Schématisation de la distribution du permafrost et des glaciers dans l'État de l'Alaska.....	15
Fig. 3.6. Schématisation des TAS de l'Alaska	16
Fig. 3.7. Schématisation des périodes de neige de 1997 à 2018.	17
Fig. 3.8. Schéma représentant la présence de permafrost en Russie.	23
Fig. 3.9. Schématisation globale des CGM	24
Fig. 3.10. Schématisation de la couverture nivale dans la Sibérie	25
Fig. 4.1. Schéma Thermosiphons	32
Fig. 4.2. Alaska Highway	33
Fig. 4.3. Shishmaref, Alaska	34
Fig. 4.4. Carte des risques	34
Fig. 4.5. Oblast de Kemerovo.....	36
Fig. 4.6. Fuite de pétrole.....	40
Fig. 4.7. Des bureaux abandonnés à Norilsk	41
Fig. 4.8. Camion coincé sur la route de glace	42
Fig. 4.9. Carte représentant le Refuge Faunique National Arctique	43

TABLE DES MATIERES

RESUMÉ	A
REMERCIEMENTS	C
LISTE DES ABREVIATIONS	D
GLOSSAIRE	E
LISTE FIGURES	F
TABLE DES MATIERES	G
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODOLOGIE	3
3. ÉTAT DE L'ART : PERMAFROST	5
3.1. LE PERMAFROST DANS LE MONDE	5
3.1.1. <i>Présentation du permafrost</i>	5
3.1.2. <i>Les causes du dégel</i>	6
3.1.3. <i>Évolutions actuelles</i>	9
3.1.4. <i>Évolutions futures</i>	12
3.2. LE PERMAFROST EN ALASKA	14
3.2.1. <i>Présentation de l'Alaska</i>	14
3.2.2. <i>Les causes du dégel</i>	15
3.2.3. <i>Évolutions actuelles</i>	18
3.2.4. <i>Évolutions futures</i>	20
3.3. LE PERMAFROST EN SIBÉRIE	21
3.3.1. <i>Présentation de la Sibérie</i>	21
3.3.2. <i>Les causes du dégel</i>	23
3.3.3. <i>Évolutions actuelles</i>	25
3.3.4. <i>Évolutions futures</i>	27
4. INFRASTRUCTURES HUMAINES	29
4.1. ÉVOLUTIONS ACTUELLES	29
4.1.1. <i>Alaska</i>	29
4.1.1.1 Impacts des infrastructures humaines	29
4.1.1.2. Impacts sur les infrastructures humaines	31
4.1.2. <i>Sibérie</i>	35
4.1.2.1. Impacts des infrastructures humaines	35
4.1.2.2. Impacts sur les infrastructures humaines	38
4.2. RÉPONSES	42
4.2.1. <i>Alaska</i>	42
4.2.1.1. Politique	42
4.2.1.2. Économie	44
4.2.1.3. Social	45
4.2.2. <i>Sibérie</i>	45
4.2.2.1. Politique	45
4.2.2.2. Économie	46
4.2.2.3. Social	47
5. TABLEAU COMPARATIF	48
6. DISCUSSION	53
7. CONCLUSION	56
BIBLIOGRAPHIE	60
SOURCES CITÉES	60
SOURCES NON CITÉES	76
ANNEXES	93

1. INTRODUCTION

Le changement climatique est un sujet qui galvanise de plus en plus de monde. Ces dernières années, il occupe une part importante des discussions et débats politiques, économiques et sociaux. Un consensus scientifique s'est quant à lui formé sur l'origine du changement climatique, puisque 97% des articles scientifiques d'accordent à désigner les activités humaines comme cause principale du dérèglement environnemental. (Nasa, 2020 ; Cook, J., et al., 2016) Depuis le début de la révolution industrielle et la découverte des différentes énergies fossiles, l'Homme cherche, puise et transforme afin de changer son environnement et de rendre sa vie plus agréable. Durant de cette période, la nature était perçue comme une ressource quasi-inépuisable. La mentalité de l'époque a contribué au développement socio-économique des hommes, mais cette avidité d'énergie fossile n'est pas sans conséquences. (Fukuhara, R., 2018) Du 19^e siècle à 2019, la Terre s'est réchauffée de 0,95°C, (Lindsey, R., Dahlman, L., 2020), causant entre autres le réchauffement et l'acidification des océans, la hausse du niveau de la mer, l'augmentation des crises alimentaires et de l'eau, la perte de la biodiversité et l'augmentation des risques sanitaires. Tous les écosystèmes sont touchés de manière plus ou moins virulente. (IPCC, 2018) L'avenir de la planète bleue est entre nos mains. L'intensité des efforts que l'Homme est prêt à produire aujourd'hui pour réduire son impact environnemental déterminera le futur des générations suivantes.

L'Arctique est l'un des écosystèmes les plus touchés par le changement climatique à l'heure actuelle. Depuis 30 ans, cette région s'est réchauffée presque deux fois plus rapidement que la moyenne mondiale. Mais ce réchauffement n'est que l'un des nombreux événements climatiques ayant lieu en Arctique, où la couche de glace de mer diminue continuellement, les glaciers fondent, la biodiversité se modifie, le permafrost dégele, les forêts prennent feu, etc. (IPCC, 2019) Ces changements environnementaux ne sont pas isolés les uns des autres. Au contraire, ils s'entremêlent et sont tous les causes et les conséquences des changements qu'ils produisent, avec en leur centre le facteur commun de l'impact des activités humaines. Cette région de glace est très importante pour la gestion de la température mondiale. L'Arctique est souvent considérée comme le réfrigérateur du monde car elle permet, grâce à sa surface blanche, de réfléchir 80% des rayons solaires vers l'espace. Cependant, avec les changements environnementaux qui s'y produisent, cette surface fond et laisse place à des zones plus foncées qui absorbent les rayons du soleil et réchauffent ainsi les mers et terres arctiques. (NSIDC, 2020) L'Arctique est également importante car elle abrite, en plus de quatre millions d'Hommes et d'innombrables espèces animales, une très lucrative diversité de minéraux, minerais précieux, pétrole, gaz, charbon et autres. Les infrastructures économiques participent intensément aux bouleversements environnementaux ayant lieu dans cette zone déjà vulnérable aux modifications climatiques.

Le permafrost reste cependant l'un des éléments les plus impactés par ces changements au sein de l'Arctique. Cette couche de terre, de roche ou de sédiments reste gelée pendant au moins deux ans. Dans

l'Arctique, les plus vieilles zones du permafrost datent du Pléistocène, il y a plus de 10.000 ans. (NSICD, 2020) Le permafrost est de même au cœur de l'actualité car il renferme, entre autres, d'anciennes bactéries ainsi qu'une grande quantité de carbone qui pourrait être relâché dans l'atmosphère au dégel de leur prison de glace. L'impact futur sur l'Homme et l'environnement que pourraient avoir cette fonte est ainsi étudié scientifiquement, tout en étant énormément reprise dans la littérature grise, ce qui influence et effraie l'opinion publique. En effet, lorsque le permafrost dégèle, il modifie fortement l'écosystème arctique et les infrastructures humaines. La biodiversité se modifie et la terre se déforme et s'érode, entraînant l'effondrement de bâtiments et rendant les routes impraticables. Dans une zone où les infrastructures des entreprises d'extraction sont très présentes, un sol qui se déforme peut avoir des conséquences dramatiques à long terme pour l'écosystème arctique.

Huit états que sont le Canada, le Royaume du Danemark, la Finlande, l'Islande, la Norvège, la Fédération de Russie, la Suède et les Etats-Unis disposent de territoires en Arctique. (Arctic Council, 2019) Parmi eux, les États-Unis et la Russie, respectivement la première et la deuxième puissance mondiale (U.S. News, 2020), ont des zones de permafrost importantes dans leurs territoires arctiques. Ces deux pays font également partie des 4 pays les plus polluants au monde, puisqu'en 2018, les États-Unis étaient responsables de 15% des émissions totales de CO₂, tandis que la Fédération de Russie était responsable de 5% des émissions de CO₂. (Union of Concerned Scientists, 2020 ; IEA, 2020)

L'Alaska et la Sibérie, les deux régions arctiques de ces pays, sont recouvertes de permafrost. Il s'agit également de régions riches en charbon, en gaz, en pétrole, en or, en diamants, en zinc et autres minerais. L'extraction, la transformation, le transport de ces ressources, ainsi que l'augmentation de la population locale impacte fortement leur environnement. Ces deux pays sont des acteurs cruciaux de l'échiquier politique et économique mondial. Ainsi, les décisions qu'ils prennent en matière d'économie et de protection environnementale impactent la Terre entière. C'est pourquoi nous nous focalisons sur le dégel du permafrost en Alaska et en Sibérie, et sur les réponses apportées par les gouvernements russe et américain pour le combattre.

Ce travail est divisé en deux grandes parties afin de répondre au mieux à la problématique : « Quelles sont les causes et conséquences du dégel du permafrost sur les écosystèmes et les infrastructures humaines en Alaska et en Sibérie. » La première partie va se concentrer sur l'écosystème arctique. Après avoir dressé un état des lieux sur les causes, conséquences et le futur du dégel du permafrost dans l'hémisphère nord, nous nous attarderons sur les différents éléments impactant et résultant du dégel du permafrost en Alaska et en Sibérie. La seconde partie se concentrera sur les infrastructures humaines. Nous allons exposer, dans un premier temps, les impacts que les infrastructures humaines ont sur le dégel du permafrost. Ensuite nous passerons à l'impact du dégel sur les infrastructures humaines. Par la suite, nous étudierons les réponses politiques, économiques et sociales face à ce dégel. Nous finirons par un tableau récapitulatif afin d'avoir une vue d'ensemble de cette problématique environnementale.

2. MÉTHODOLOGIE

Ce travail va tenter de répondre à la problématique suivante. : Quelles sont les causes et conséquences du dégel du permafrost sur les écosystèmes et infrastructures humaines en Alaska et en Sibérie ? Afin de mener à bien cette recherche, la méthodologie se base sur la littérature scientifique ainsi que la littérature grise. Le mélange de ces deux littératures est fondamental afin d'avoir une compréhension approfondie de toutes les facettes de cette problématique.

Le sujet choisi est vaste, car les causes et conséquences du dégel du permafrost sont toutes interconnectées et certains liens ne sont pas encore entièrement compris. Le mécanisme global du dégel est relativement bien défini mais de nouvelles clés d'analyse sont découvertes chaque année. Le choix de la littérature utilisée est donc important. Afin de comprendre au mieux les différents éléments qui gravitent autour du dégel du permafrost, plus de 500 articles de la littérature scientifique et grise ont été pris en compte. Tous ont été lus sans pour autant être tous cités. En effet, certains articles se réfèrent entre eux, plusieurs articles renvoient vers une source commune, ou au contraire une information n'est exposée que dans un seul article. Dans la grande majorité, le choix a été de ne reprendre une information scientifique que si celle-ci a été reprise dans plusieurs sources différentes de la littérature. Dans ce cas, une ou deux sources sont citées mais le reste des articles sont tout de même répertoriés dans la bibliographie « non-cité ». Quelques exceptions ont été faites soit car il s'agit d'une découverte ou théorie récente soit car les résultats sont débattus dans les publications scientifiques.

Comme évoqué plus haut, le changement climatique et toutes ses conséquences prennent de plus en plus de place dans le débat public et scientifique. Le dégel du permafrost fait partie des informations souvent relayées. De nouvelles informations sont découvertes, c'est pourquoi nous avons décidé de nous concentrer sur une littérature récente. Quatre cinquièmes des sources datent des cinq dernières années. Le cinquième restant est constitué des sources reprises dans une partie de la littérature plus récente ou qui ont servi de point de départ à de nouvelles recherches. Dans certains cas, elles sont les informations les plus récentes que nous ayons sur un sujet précis.

Plusieurs types de littérature grise ont été utilisés afin de pouvoir répondre aux différents besoins d'informations. Premièrement, afin d'expliquer au mieux ce qui se passe en Alaska et en Sibérie, nous avons fait le choix d'imager certains de nos propos avec des exemples concrets. Ainsi nous parlons de désastres environnementaux, de projets d'infrastructures, de villages, de communautés précises. Ces informations ne sont pas reprises dans la littérature scientifique soit en raison de la grande spécificité des événements décrits, soit car ils sont trop récents pour avoir donné lieu à une publication scientifique. Ce genre d'information est donc plutôt disponible dans des sources telles que les journaux, déclarations politiques, sites d'ONG, ou encore sur blogs environnementaux ou activistes. Les exemples donnés

datent pour la grande majorité de 2019 ou 2020, avec quelques autres exemples endéans les cinq dernières années.

Deuxièmement, l'utilisation de la littérature grise est indispensable afin de comprendre les réponses environnementales des différents acteurs politiques, économiques et sociaux de l'Alaska et de la Sibérie. En effet, les réponses des protagonistes ne sont que très rarement reprises dans la littérature scientifique mais sont accessibles sous forme de communiqués de presse, d'articles de presse ou de documents explicatifs à l'attention de la population. Nous avons eu accès à ces documents grâce aux différents sites gouvernementaux, à la presse ainsi que sur les sites internet des différents acteurs et groupes d'acteurs économiques ou sociaux.

Troisièmement, une partie des graphiques ont été trouvés sur les réseaux sociaux. Bien qu'ayant conscience que ces sites ne sont pas à vocation scientifique, plusieurs scientifiques, organismes scientifiques, universités ou organismes environnementaux ont des comptes sur les réseaux sociaux. C'est le cas de la Nasa, de WWF, de Berkeley Earth, de Carbon Brief, Labe, Z., Thoman, R., et bien d'autres. Ces plateformes permettent de faire de la vulgarisation environnementale en créant des visuels très clairs. Les visuels repris dans cette étude ont tous été créés sur la base de documents ou de sources scientifiques. Les sources utilisées pour créer ces illustrations sont pour une partie écrites sur l'image.

Les réseaux sociaux et la littérature grise ont également été utilisés pour certaines photos illustrant nos propos. Lorsque bien utilisé, les réseaux peuvent être de bonnes sources d'information venant des quatre coins de la terre.

Finalement, lorsque la littérature grise reprenait des concepts ou des informations scientifiques, nous avons fait les recherches nécessaires afin de vérifier que ces informations étaient véridiques et reprises dans la littérature scientifique. Une partie des articles des périodiques renvoie elle-même aux documents et informations d'origine. Les sites d'informations ainsi que leurs sources scientifiques sont tous cités dans la bibliographie.

3. ÉTAT DE L'ART : PERMAFROST

3.1. Le Permafrost dans le monde

3.1.1. Présentation du permafrost

Le permafrost fait partie de la cryosphère. Il s'agit d'une couche de terre, de roche ou de sédiments qui reste gelée pendant au moins deux ans d'affilée. Il est principalement défini sur base de sa température et sa durée de gel. (Péwé, T., 2018 ; van Huissteden, J., 2020) Une partie du permafrost actuel s'est formé durant le Pléistocène, c'est à dire il y a plus de 10.000 ans (NSICD, 2020 ; International Permafrost Association, 2020)

Le permafrost est composé de plusieurs couches. La strate supérieure est appelée la couche active. Elle gèle et dégel selon les saisons. Son épaisseur peut varier de quelques décimètres jusqu'à plus d'un mètre. Cela dépend de son taux d'humidité, de la topographie, de la couverture végétale ainsi que de la couverture nivale. S'en suit une strate permagelée qui peut atteindre 1500 m de profondeur. Dans cette strate, les fluctuations thermiques journalières et saisonnières pénètrent de moins en moins jusqu'à la limite du zéro amplitude annuelle (ZAA). Par la suite, la température au sein de cette bande va augmenter sous l'effet des flux de chaleur géothermique. La base du permafrost sera atteinte lorsque la température du sol dépassera le point de fusion. (Biskaborn, B. K., et al., 2019)

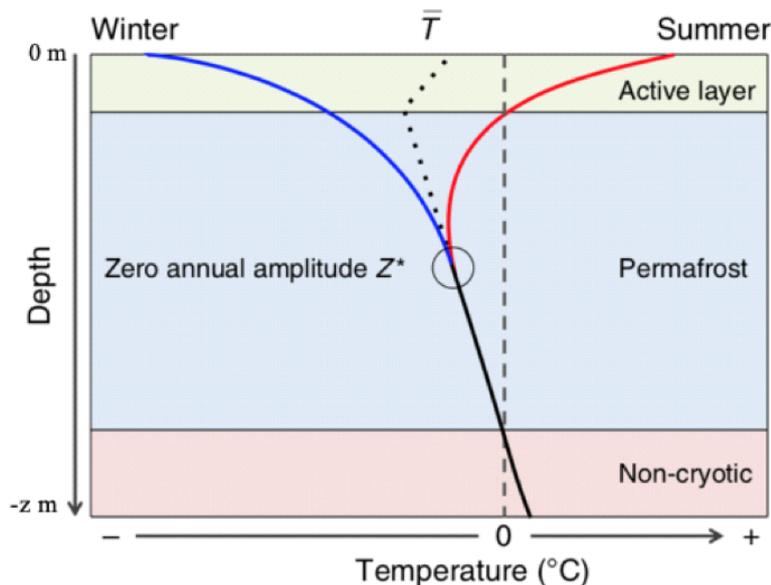


Fig. 3.1. Profil vertical schématisé de la température à travers le permafrost, de la base au sommet. La ligne bleue représente les températures hivernales typiques, la ligne rouge représente les températures estivales typiques et la ligne pointillée indique la température moyenne des sols. Leur convergence donne la température annuelle moyenne du sol T à la profondeur de l'amplitude annuelle zéro Z^* . (French, 2018 in Biskaborn, B.K, et al., 2019)

Les grandes zones géographiques de permafrost sont généralement classées selon leurs stabilités spatiales. Si plus de 90% d'un territoire se trouve sur une couche de permafrost, il est alors considéré comme « continu ». La zone sera « discontinue » si elle occupe 50 à 90%, « sporadique » si c'est de 10 à 50 % et le permafrost sera considéré comme « parcelles isolées » s'il occupe moins de 10 % de la région. (Biskaborn, B. K., et al., 2019 ; Davesne, G., 2012 ; van Huissteden, J., 2020)

Le permafrost recouvre environ 1/5 de la surface du globe. (Biskaborn, B. K., et al., 2019) On le trouve principalement sur les terres de l'hémisphère nord, mais on peut également retrouver du permafrost alpin dans des zones de hautes altitudes ainsi que du permafrost sous-marin se trouvant sous l'océan Arctique. (Péwé, T., 2018 ; NSIDC, 2020 ; Marchenko, S., et Etzelmüller, B., 2013) Dans l'hémisphère sud, le permafrost est moins présent car il y a plus d'océan et moins de terres émergées. Nous pouvons toutefois en trouver en Antarctique. (NSIDC, 2020 ; Blich, T., et Christiansen, H.H., 2015)

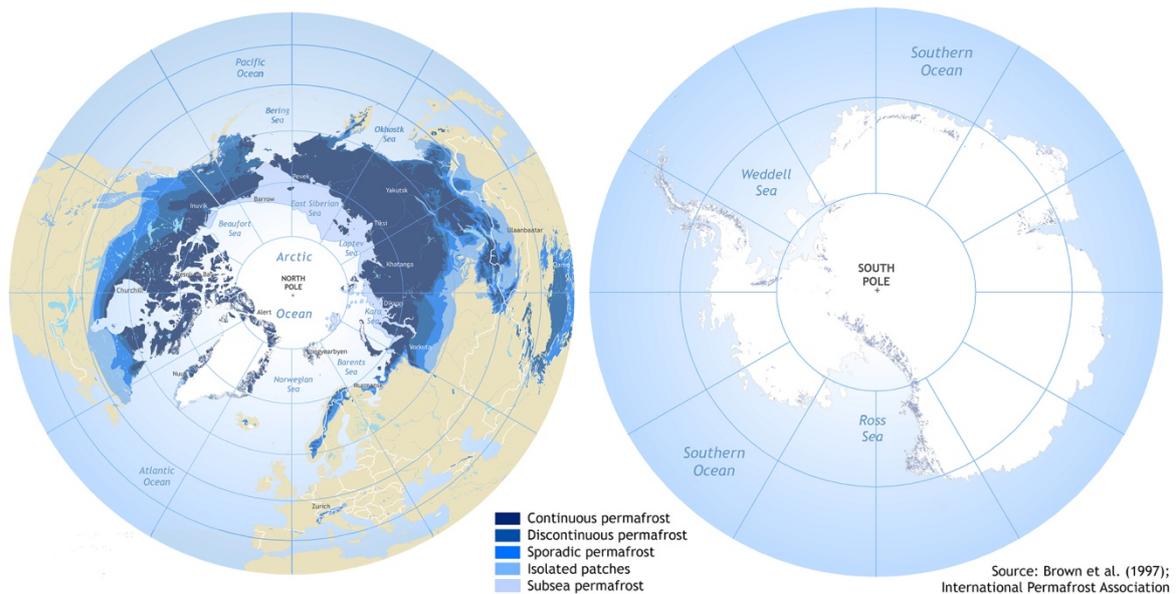


Fig. 3.2. Présentation des zones de permafrost. 4 zones de permafrost terrestre. Le plus foncé étant du permafrost continu, le plus clair du permafrost isolé. Le plus clair des bleus représente le permafrost sous-marin. (Brown et al, 1997 in International Permafrost Association, 2020)

Si le dégel saisonnier est normal, le permafrost dégel de plus en plus tôt dans l'année et de plus en plus profondément. Ce dégel s'inscrit dans un ensemble d'événements se passant plus ou moins en même temps mais qui sont surtout interconnectés et qui créent ensemble une boucle de rétroaction. En effet, le dégel est une cause et conséquence directe d'une multitude de bouleversements. Avec comme base le changement climatique induit par les activités humaines. Si des changements au sein de notre planète et tous ses écosystèmes ont toujours existés, l'impact des activités humaines les ont exacerbés et accélérés.

3.1.2. Les causes du dégel

Les causes du dégel du permafrost sont multiples et parfois mal comprises ou pas suffisamment étudiées. Nous savons qu'il est primordial d'avoir une vue d'ensemble sur tout l'écosystème arctique afin de saisir l'interconnexion entre les différents événements.

L'effet d'Albédo est un rouage important dans la boucle de rétroaction ayant lieu en Arctique. Cet effet est défini comme suit : « L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé » (Futura Planète, 2020). La baisse de cet effet est une tendance qui a lieu un peu partout en Arctique. La neige a un taux très élevé d'Albédo, car c'est une surface qui réfléchit fortement les radiations solaires contrairement à la terre ou à l'eau qui vont emmagasiner l'énergie, ce qui a pour effet d'augmenter la température. La couche neigeuse, les glaciers et toutes surfaces ayant un taux élevé d'albédo sont occupés à fondre et perdent ainsi de leurs superficies. Cette diminution va engendrer une augmentation de la température qui à son tour fera fondre les surfaces ayant un haut taux d'albédo, et ainsi de suite. (Blunden, J., et al., 2020)

L'augmentation de la température est une des conséquences principales du changement climatique. Elle est également la cause principale du dégel du permafrost. La température aux pôles augmente deux fois plus vite que partout ailleurs sur terre. (Annexe 1) Cette augmentation extrême est appelée l'amplification polaire. Nous allons dans le présent travail exposer les différentes causes et conséquences du dégel du permafrost en Alaska et en Sibérie. Ces deux régions se trouvant dans l'hémisphère nord, nous allons nous concentrer sur l'amplification arctique. (NSIDC, 2020) Depuis 30 ans, la température aux pôles a augmenté en moyenne de $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ par décennie. En 2019, la TAS arctique était la seconde plus élevée en plus de 120 ans d'observations. (Annexe 2) (IPCC, 2019 ; NSIDC, 2020 ; Biskaborn, B. K., et al., 2019 ; Blunden, J., et al., 2020) Il n'y a pas de consensus concernant tous les facteurs qui participent à l'amplification arctique et au dégel du permafrost. Cependant, certains sont repris par une grande partie de la littérature scientifique.

L'augmentation de la température du permafrost est un facteur participant à l'amplification arctique. Globalement, lors de la période de 2007-2016, le permafrost s'est réchauffé de $0.29 \pm 0.12^{\circ}\text{C}$. (IPCC, 2019) Lors de la même période, la température à proximité du ZAA dans le permafrost continu a augmenté de $0.39 \pm 0.15^{\circ}\text{C}$. Quant au permafrost discontinu, il a augmenté de $0,20 \pm 0.10^{\circ}\text{C}$. (Biskaborn, B. K., et al., 2019)

Les océans et mers arctiques se réchauffent également. Entre autres dû à l'arrivée de courants plus chauds. L'océan arctique ($\pm 1\%$ du volume global des océans) reçoit $\pm 11\%$ du débit fluvial des grands fleuves eurasiatiques et nord-américains. (McClelland et al., 2012 in van Huissteden, J., 2020) Ce ruissellement amène via l'Atlantique nord et les courants norvégiens de la chaleur venant des océans Pacifique et Atlantique. Ce qui a pour conséquence d'accroître les températures hivernales polaires. (Blunden, J., et al., 2020)

Ce réchauffement est également dû à la disparition de la couverture de glace de mer. Celle-ci réduit énormément, tant en épaisseur qu'en étendue. En disparaissant, l'eau se réchauffe car elle a un taux d'albédo plus faible que la glace. La disparition de la CGM a également une grande influence sur le climat continental des terres qui bordent l'océan Arctique ainsi que sur le permafrost. La disparition de la CGM a lieu toute l'année et n'est pas homogène. Cependant, c'est particulièrement en été et en septembre que ce dégel est le plus important. (NSIDC, 2020) La CGM de septembre a réduit de $\pm 13,1\%$ par décennie, ce qui est inédit depuis au moins un siècle. (Lindsey, R., et Scott, M., 2020) Avec les températures élevées de 2020, l'étendue de la CGM a fortement diminuée. A son minimum, en septembre 2020, elle ne recouvrait en moyenne que 3,92 millions Km², ce qui est bien en dessous de la moyenne. C'est également la deuxième fois que l'étendue minimale tombe sous les 4 millions de Km². (Annexe 3) (NSIDC, 2020) La CGM n'arrive pas à se régénérer au-delà d'un an. (Ramsayer, K., 2020) En 2019, 77% de la glace était vieille d'un an contre 55% en 1980. (Annexe 4) (Blunden, J., et al., 2020)

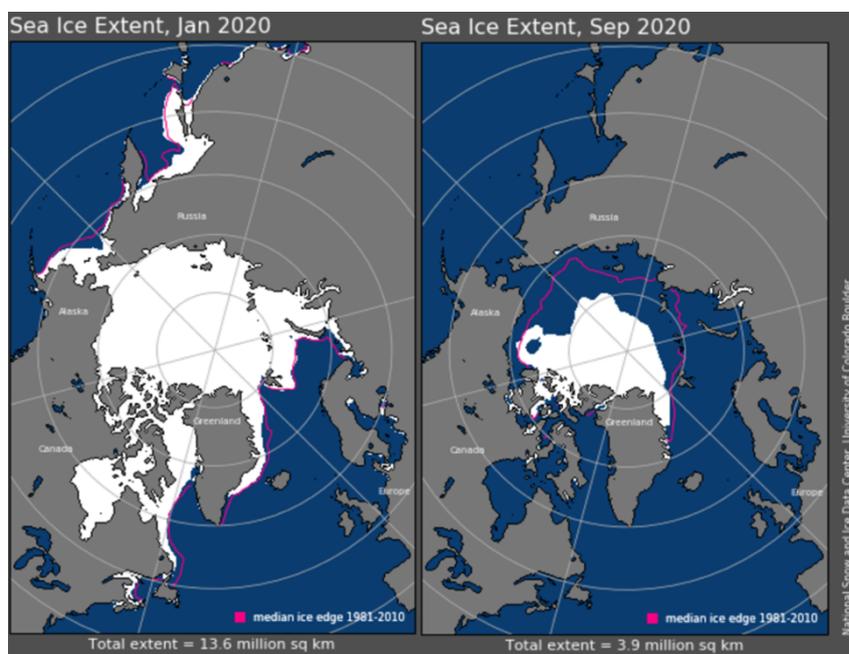


Fig. 3.3. L'étendue mensuelle moyenne de la glace de mer en janvier 2020 (gauche) et septembre 2020 (droite). La ligne magenta représente l'étendue médiane de la glace de mer pour les mois de janvier et septembre, au cours de la période 1981-2010. (NSIDC, 2020)

Ensuite, la couverture nuageuse se modifie. En été, au lieu d'avoir de grandes étendues de nuages, ceux-ci se rassemblent et laissent des trous dans la couche nuageuse par lesquels les rayons du soleil arrivent à passer. En temps normal, la couverture nuageuse homogène protège la terre des rayons solaires en les réfléchissant vers l'espace. En hiver, la couverture nuageuse est plus dense et va alors piéger la chaleur qui émane de la terre en la réfléchissant vers le sol. Cette réflexion de rayons et de chaleur participe à l'amplification arctique. (IPCC, 2019) Selon une étude de 2019, l'augmentation de la température et la fonte de la CGM rendent l'atmosphère plus humide avec une augmentation de la couverture nuageuse de haute altitude. Ceci pourrait aider à contre balancer la perte de la glace de mer étant donné que ces nuages ont un grand taux d'albédo et réfléchissent ainsi les rayons du soleil. Cependant, cette tendance n'est pas uniforme sur tout l'Arctique. (He, M., et al, 2019)

La couverture neigeuse Arctique a perdu au total $\pm 2,5$ millions Km², soit $13,4 \pm 5,4\%$ par décennie entre 1967 et 2018. (IPCC, 2019) Cette disparition a principalement lieu au printemps et durant l'été. (NSIDC, 2020) De ce fait, la couverture nivale au mois de juin est très réduite alors qu'historiquement la Sibérie, l'Alaska et le nord du Canada sont partiellement enneigés à cette période. (Dahlman L et Lindsey, R., 2020) La durée de la période neigeuse est de plus en plus courte. Elle commence plus tard dans l'année et finit plus tôt au printemps avec une réduction de ± 3 à 5 jours par décennie depuis la fin du 20e siècle. (Bokhorst, S., et al., 2016) Le changement de la durée et de l'épaisseur de la couverture neigeuse sont les impacts les plus importants sur le dégel du permafrost et sur la végétation après le réchauffement de la température. (van Huissteden, J., 2020)

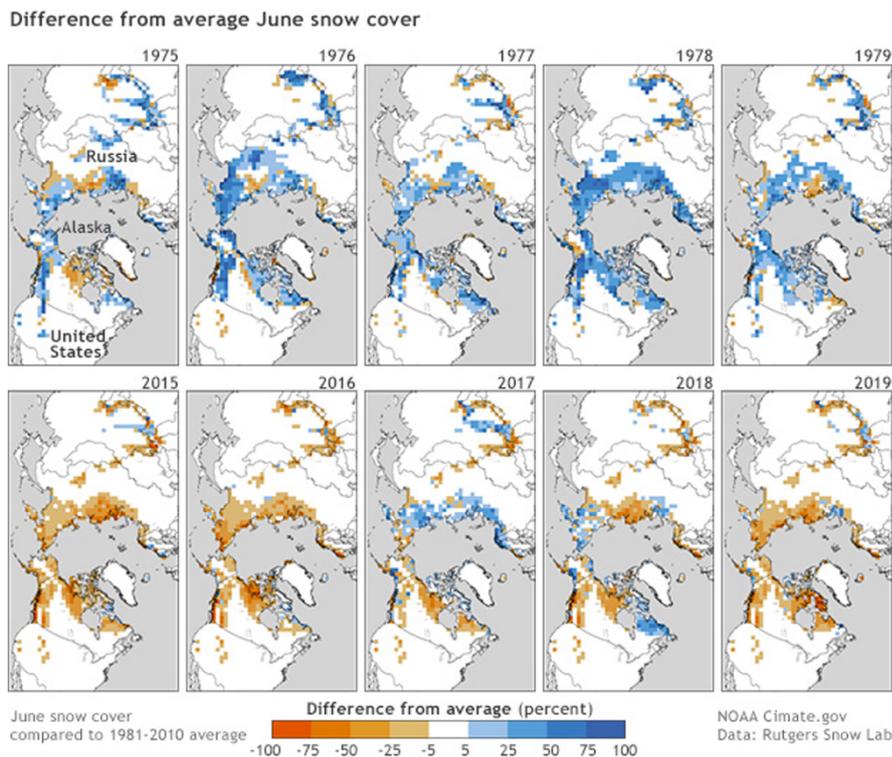


Fig. 3.4. La couverture neigeuse pour le mois de juin de 1975 à 1979 (rangée du haut) et de 2015 à 2019 (rangée du bas) comparée à la moyenne de 1980 à 2010. Plus une zone est bleue, plus elle a été couverte. Inversement, plus une zone tire vers le rouge, plus la couverture a diminué. (Dahlman L, et Lindsey, R., 2020)

3.1.3. Évolutions actuelles

Les conséquences du dégel du permafrost sont multiples et très variées. De l'impact sur l'environnement à celui sur l'Homme en passant par l'impact sur la faune et la flore. Dans certains cas, ce changement est positif et dans d'autres, il est désastreux. Nous évoquerons les impacts sur les infrastructures humaines dans le chapitre 4.

Premièrement, la libération des gaz à effet de serre est un des impacts les plus dramatiques, car les gaz contribuent grandement à la boucle de rétroaction. Ces gaz présents dans le permafrost proviennent entre autres des écosystèmes actuels qui absorbent du carbone pendant les courtes périodes estivales où la croissance des plantes et la photosynthèse sont plus importantes que le carbone rejeté dans l'atmosphère. Cependant, les gaz jouant un rôle important dans l'accélération du réchauffement

climatique proviennent des plantes et animaux qui ne se sont pas décomposés, car ils ont été emprisonnés dans un sol gelé depuis des milliers d'années. Avec le dégel de cette « prison », ce carbone organique est exposé à la décomposition par le microbiote. (IPCC, 2019 ; NSIDC, 2020) Il y aurait entre 1460 et 1700 Pg de carbone enfermé dans le permafrost, ce qui représenterait plus du double du carbone atmosphérique actuel. (Bykova, A., 2020) 65% à 70% du carbone organique se trouve à la surface du permafrost, c'est à dire entre 0m et 3m. (Annexe 5) Le reste du permafrost est stocké plus profondément. On le retrouve en particulier dans le Yedoma.(Annexe 6) (Blunden, J., et al., 2020) Cette problématique étant très récente, il n'y a pas encore de consensus concernant les émissions actuelles de GES. (IPCC 2019) Pourtant, une étude a tenté de démontrer qu'entre 2003 et 2017, les zones gelées avaient rejeté ± 600 Tg de carbone. (Natali, S. M. et al., 2019)

Deuxièmement, le dégel du permafrost a également un impact sur tous les systèmes aquatiques tels que sur les lacs situés dans les zones du permafrost. Comme l'énonce le "Global Lake and Wetland Database" (GLWD) de Lehner et Döll, $\pm \frac{1}{4}$ des lacs mondiaux se trouvent dans les zones nordiques. Cette quantité pourrait cependant être bien plus élevée compte tenu du fait que le GLWD ne prend pas en compte les lacs de moins d'1km². Selon une autre étude, les lacs thermokarstiques représenteraient une zone entre 250,000 km² et 380,000 km². (van Huissteden, J., 2020) Le dégel du permafrost va créer une double problématique. Si les sols ont de mauvaises conditions de drainage, cela va créer des thermokarsts humides, c'est-à-dire des sols saturés en eaux qui peuvent modifier la topographie et noyer la biodiversité. Si au contraire les sols sont bien drainés, cela formera des thermokarsts sèches, ce qui aura comme effet d'assécher les sols et les rendre plus sensibles à l'érosion et aux feux. Les thermokarsts ainsi que d'autres type de pièces d'eau influencent également le dégel du permafrost. En effet, l'eau a un faible taux d'albédo et a une capacité thermique deux fois plus élevée que la neige et quatre fois plus élevée que la terre. En été, ces points d'eau sont un aimant à chaleur et risquent soit de s'assécher s'ils ne sont pas très grands, soit de grandir avec l'arrivée des eaux de fonte. En hiver, les pièces d'eau gèlent et fissurent la terre qui les entourent et lors de l'été suivant, le cycle recommence. À partir d'une profondeur de $\pm 2\text{m}$ - $2\text{m}50$, les lacs ne gèlent plus en hiver. Ils continuent alors de grandir car ils augmentent les flux thermiques au fond des points d'eaux, ce qui fait fondre les sols gelés qui les entourent. Ces points d'eau ont également un rôle prépondérant dans l'émission de GES. Car c'est lors de leur création et leurs premiers moments de vie qu'ils émettent le plus de GES. (van Huissteden, J., 2020 ; IPCC, 2019 ; In 't Zandt, M.H., et al., 2020) Selon une étude de 2018, les nouveaux lacs créés par le dégel brutal pourraient tripler la quantité de gaz à effet de serre prévus à l'origine suite au dégel du permafrost. (Walter A. K., et al., 2018 in Welch C., 2019)

Depuis 1970, la montée des eaux est due à un forçage anthropique. De 2003 à 2008, la fonte des glaces en Arctique et au Groenland avait contribué à plus de la moitié de la montée des eaux, c'est-à-dire ± 2.5 mm par an. (AMAP, 2012). Selon l'IPCC, la fonte des glaciers et calottes a été la première cause de la montée des eaux océaniques de 2006 à 2015 avec $\pm 1,8$ mm yr⁻¹. Cela dépasse les $\pm 1,4$ mm

yr⁻¹ que représente la dilatation thermique des océans. (IPCC, 2019) Cependant, l'élévation des eaux ne se limite pas seulement aux océans, mais également aux rivières, lacs et tout autre milieu aquatique. (IPCC, 2019 ; Van Huissteden, J., 2020 ; Blunden, J., et al., 2020) Les conséquences de cette montée varient en fonction des régions du globe. Cela va d'une augmentation du nombre d'inondations à une augmentation de la taille des vagues. (IPCC, 2019 ; NSIDC, 2020)

L'érosion des terres et côtes arctiques pose de nombreux problèmes autant pour l'Homme que pour l'écosystème dans sa globalité. Les côtes arctiques sont composées à 65% de matériaux meubles qui sont maintenus ensemble par de la glace. Il y a deux principaux processus d'érosion qui ont lieu en Arctique. Le premier est appelé l'abrasion thermique. Il s'agit du creusage des terres par les vagues. La glace de mer a en générale un rôle de brise lame. La fonte de celle-ci laisse aux vagues le champ libre pour arriver sur les côtes sans encombres. Une seule tempête peut détruire jusqu'à 20 mètres de côte (Herrmann, V., 2016 ; NSIDC, 2020 ; Bykova, A., 2020 ; Sulisz, W., 2017) Le deuxième processus est la dénudation thermique. Lorsque le permafrost dégèle, il rend la terre de plus en plus fragile jusqu'à ce qu'elle s'effondre. Ces dégradations du relief peuvent détruire des habitations, des routes, des transports des matières premières ainsi que relâcher des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Quand ces changements surviennent près de cours d'eaux, ces derniers peuvent transporter des sédiments sur de grandes distances et ainsi perturber tout un écosystème. (Vonk J.E. et al., 2015 ; Richter-Menge, j., et al., 2019)

Les changements dans la cryosphère modifient les propriétés fondamentales des écosystèmes. L'augmentation de la température, de la luminosité, du débit d'eau, de la disponibilité des nutriments ainsi que de la prolongation de la période végétative et bien d'autres ont un impact sur la flore arctique. Depuis une trentaine d'années, et avec l'augmentation de la biomasse, la zone polaire abandonne son manteau blanc pour un manteau vert. Dans certaines plus petites régions, ce manteau est brun. (Berner L.T., et al., 2020 ; IPCC, 2019 ; Welch C., 2019 ; Blunden, J., et al., 2020 ; Peng, X., et al., 2019) Les zones vertes sont signe d'une augmentation de la productivité végétale contrairement aux zones brunes où il y a un déclin de productivité. Les connaissances sur les zones brunes sont limitées. Cependant, les causes du brunissement seraient liées à la réduction de la couverture nivale suite au réchauffement qui amènerait à un dessèchement de la Toundra. D'autres causes sont des invasions d'insectes, une augmentation du pâturage, l'affaissement des sols et l'augmentation des eaux de surface (Annexe 7) (IPCC, 2019 ; Schuur, E.A.G., et al., 2015.)

L'abondance de végétation et le réchauffement climatique amènent une augmentation du nombre de feux de forêts, mais font aussi avancer le début de la saison des feux arctiques. Ces incendies peuvent être d'origine anthropique ou dus à la modification des écosystèmes. Ils arrivent principalement dans les tourbières et émettent une grande quantité de gaz à effet de serre. Ils participent également au dégel du permafrost qui les entourent. L'effet d'albédo s'en retrouve modifié. Tout d'abord, il diminue à cause

du noir de carbone. Ensuite, lorsque la végétation revient, l'effet augmente et il peut même s'avérer être plus élevé car la végétation est souvent plus dense. La flore se modifie, avec des individus qui changent au sein du système écologique. On voit ainsi apparaître de plus en plus d'arbres et non plus seulement des arbustes. (Dieleman, C., 2020 ; Witze, A., 2020 ; Stone, M., 2020 ; NASA, 2020)

Ensuite, l'Arctique abrite des espèces animales qu'on ne trouve nulle part ailleurs. Ils trouvent dans ces étendues glacées un lieu de vie qui leur assurent une alimentation riche, un refuge ou pour certaines espèces du sud un site de reproduction. La transformation de l'écosystème Arctique a un impact sur ces populations. Par exemple, les floraisons phytoplanctoniques arctiques sont de plus en plus grandes et commencent plus tôt dans l'année. Ce bouleversement va avoir un impact sur toute la chaîne trophique. D'autres espèces, terrestres comme aquatiques, migrent parce qu'elles voient leurs habitats et leurs ressources diminuer tragiquement. Les populations terrestres migrent principalement vers le nord, car le climat leur est plus favorable et l'augmentation de la végétation leur offrent plus de chance de survie. (IPCC, 2019 ; NSIDC, 2020 ; Berteaux, D., et al., 2016)

Le dégel du permafrost et des glaciers peuvent avoir un impact sur la santé des Hommes ainsi que toutes les autres espèces vivantes de l'écosystème arctique, car il y a des virus, des bactéries et d'autres espèces vivantes qui sont enfermés depuis des milliers d'années dans le permafrost. Plusieurs d'entre eux ont déjà fait surface, tels que l'anthrax ou des nématodes. Même si la communauté scientifique sait que certains virus sont présents dans le permafrost, les connaissances actuelles ne permettent pas de savoir avec certitude quels impacts ils peuvent avoir sur l'écosystème terrestre. (IPCC, 2019 ; Mayer, N., 2020 ; Deluzarche, C., 2018)

3.1.4. Évolutions futures

Lorsque nous parlons de changement climatique dans un futur plus ou moins lointain, celui-ci est souvent flou. Les connaissances sur cette problématique sont en constante évolution. Les conséquences de ce changement ne sont pas universelles car chaque endroit a ses spécificités. Les résultats et modèles apportés par les scientifiques peuvent donc différer et même se contredire.

D'ici 2100, 5 à 15% des GES enfermés dans le permafrost pourraient être émis, ce qui ferait augmenter la température de 0,13°C-0,27°C. Ces prévisions sont évidemment dépendantes des scénarii du plus modéré au plus catastrophique. D'ici 2300, les GES pourraient faire augmenter la température mondiale de $\pm 0.42^\circ\text{C}$. (IPCC, 2019 ; NSIDC, 2020 ; Biskaborn, B. K. et al, 2019 ; Turetsky M.R. et al., 2019) Même si toutes émissions d'origine anthropique devait s'arrêter brusquement, le permafrost continuerait de dégelé. Même si le permafrost cessait de dégelé, du carbone s'en échapperait pendant quelques décennies. (Schädel, C., 2020 ; Wang, c., et al., 2019)

Dans les scénarii les plus catastrophiques, le permafrost tel que nous le connaissons pourrait avoir complètement disparu d'ici 2100. La couche nivale se réduira également considérablement, notamment dû à la baisse des chutes de neiges. La pluie deviendrait la forme dominante de précipitation en Arctique d'ici la fin du siècle. (Bintanja, R., Andry, O., 2017)

Dans ces mêmes scénarii catastrophiques, et selon certaines études, la glace de mer pourrait disparaître en été d'ici 2030, selon d'autres, elle ne disparaîtrait pas avant 2050. (NOAA, 2020) Les eaux mondiales pourraient monter de 3 à 10 centimètres supplémentaires si le permafrost et tout autre corps glacé disparaissait. Ceux-ci se joindront à l'augmentation du niveau global de la mer qui, dans le pire des scénarii et selon l'IPCC, pourrait atteindre 0,61m à 1,1m. Cependant, de nouvelles études tentent à démontrer que cette augmentation pourrait atteindre + 1,5m à 2,5m pour la fin de notre siècle. Cette augmentation aurait un impact sur ± 630 millions de personnes qui vivraient alors sous le niveau de la mer. (European environment agency, 2020 ; Buchholz, K., 2020 ; Bamber, J. L. et al., 2019 ; Kulp, S.A., et Strauss, B.H., 2020)

À moyen et long terme, la biodiversité arctique va disparaître au profit de nouvelles espèces qui sauront mieux s'adapter à ce nouvel environnement. (IPCC, 2019) L'augmentation de la végétation pourrait jouer un rôle important dans la réduction de la propagation des lacs thermokarstiques et autres plans d'eau en réduisant notamment leur expansion ainsi que leur profondeur. (Kanevskiy et al., 2017 in Van Huissteden, J., 2020)

L'augmentation de la végétation et ses effets sur le dégel du permafrost sont encore très mal connus. Selon certaines études, la flore pourrait ralentir le dégel du permafrost car les plantes arctiques ont de multiples utilités, tant de leur vivant qu'après leur mort. Elles isolent le sol givré en empêchant la chaleur de pénétrer. Leurs racines absorbent l'eau et rendent les sols plus secs. (The university of Edinburgh, 2019) Selon d'autres études, la végétation pourrait accélérer le dégel du permafrost. La prolifération de la flore arctique pourrait rendre le cercle polaire moins enneigé et avoir ainsi un impact sur toutes les couches du permafrost. (Wilcox E.J., et al. 2019 ; Jafarov, E.E. et al in Los Alamos national Laboratory, 2018) Certains scientifiques mettent en avant que l'augmentation de la végétation pourrait servir de puit de carbone, compensant ainsi le rejet des gaz à effet de serre. D'autres études démontrent que les espaces verts ne seront pas suffisamment conséquents pour contre balancer ce rejet. (Natali, S.M. et al., 2019)

En ce qui concerne la faune arctique, le réchauffement des océans verra une augmentation d'une partie de la biomasse marine qui sera suivie par un déclin dû notamment à la fonte de la glace de mer qui leur fait perdre leur habitat naturel. Ce déclin n'est pas spécifique à la faune marine, car la faune du cercle polaire verra son habitat naturel également modifié, voir éliminé et leur nourriture subira également les modifications dues aux nombreux changements. (IPCC, 2019 ; Blunden, J., et al., 2020)

Certains scientifiques ont étudié l'impact que les herbivores pourraient avoir sur le dégel du permafrost. Selon eux, lâcher une grande quantité de troupeaux pourrait diminuer le dégel de 44%. Ces

animaux tassent la couche de neige avec leurs sabots, ce qui crée une couche de neige plus fine et permet à l'air froid de rentrer en contact avec le sol congelé. Cette étude est légèrement utopiste, mais permet d'évoquer des pistes de réflexion. (Beer, C. et al. 2020)

3.2. Le permafrost en Alaska

3.2.1. Présentation de l'Alaska

L'Alaska est le 49^e État des États Unis d'Amérique dont la capitale est Juneau. Tout comme Hawaï, l'Alaska ne possède aucune frontière commune avec les autres États américains. Avec une superficie de 1.723.337 km², il est de loin le plus grand État des États Unis. L'Alaska s'étend sur 43° de longitude (130°W au 173° W) et s'étend sur 16° de latitude, (55°N au 71°N). Près d'un tiers de cet État est situé dans le cercle polaire.

Au nord de l'Alaska se situe la mer de Beaufort et l'Océan Arctique. À l'est se trouve le Territoire du Yukon et la Colombie-Britannique. Au Sud le golfe d'Alaska ainsi que l'Océan Pacifique. A l'ouest la mer de Béring et le détroit de Béring et au nord-ouest la Mer de Tchoukches.

En 2019, ±731.545 personnes y résidaient, ce qui en fait l'État le moins peuplé des États-Unis. Près de la moitié de la population vit dans la région métropolitaine d'Anchorage, plus ¼ du restant des citoyens vit dans des grandes villes. Le reste de la population, c'est-à-dire ± 1/5, vit en petites communautés. Les populations indigènes représentent ± 15% des habitants de l'État. Ces individus proviennent de plusieurs tribus différentes et sont les plus vulnérables face au changement climatique.

Du point de vue de l'économie, l'État est surtout connu pour ses terres riches en matières premières. En effet, l'industrie minière produit par exemple du zinc, du cuivre, du charbon, de l'or ou encore du plomb. En 2018, l'export de minerais représentait 36% des revenus de l'État. Cette industrie employait en 2019, directement et indirectement, 9.400 personnes. (Resource development council, 2020)

L'industrie du gaz et du pétrole représente en moyenne 90% des recettes fiscales de l'État. Ce secteur est toutefois en déclin depuis plus de 30 ans. Il a employé en 2018, de manière directe et indirecte, 77,600 personnes. (Resource development council, 2020 ; Alaska Oil and Gas Association, 2020)

Un emploi sur dix est lié au secteur du tourisme, ce qui en fait le deuxième secteur le plus important. Il est également le secteur qui croît le plus. En 2018, il a connu une augmentation de 5%, due principalement à l'accroissement des croisières nautiques. (Resource development council, 2020)

La pêche est également une source de revenus très importante dans cet État. Ce secteur produit plus de la moitié du poisson pêché dans les eaux des États-Unis. (NOAA fisheries, 2020)

L'Alaska abrite, au sein de ses cinq régions, une géographie et une topographie très diversifiées. Ces régions sont l'extrême-Nord, les terres intérieures, le centre-Sud, le Sud-Est et le Sud-Ouest. Les

écosystèmes variés d'Alaska vont des forêts pluvieuses tropicales tempérées à la toundra fleurie en passant par les déserts, la taïga et les plus hauts pics des États-Unis. En effet, les 10 plus hautes montagnes du pays se trouvent en Alaska. Cet État se situant sur la ceinture de feu du Pacifique, on peut y retrouver de nombreux volcans dont approximativement 40 qui ont été actifs ces derniers siècles. Aucun recensement étatique n'a jamais été effectué. Cependant, l'État compterait plus de 3 millions de lacs, plus de 3.000 cours d'eau et \pm 2.670 îles. Par ailleurs, environ 1/3 du territoire est couvert de forêts, dont 90% sont considérées comme de la forêt boréale. Les 10% restants sont de la forêt côtière tempérée. L'État abrite également quelques 100.000 glaciers.

Le Permafrost se situe sous près de 80% de l'Alaska. Cette couche de sous-sol gelé n'est pas homogène sous tout le territoire. Il est continu dans l'extrême-Nord, au nord de la chaîne Brooks, où il peut atteindre plus de 6m de profondeur. Il devient discontinu au sud de la chaîne et est sporadique puis isolé dans le Sud-Ouest de l'État. Le permafrost est totalement absent dans la chaîne aléoutienne du Sud-Ouest ainsi que dans le Sud-Est, sauf pour quelques zones dans les montagnes. A l'est et au nord-est de l'Alaska, nous pouvons également retrouver un peu de permafrost sous-marin.

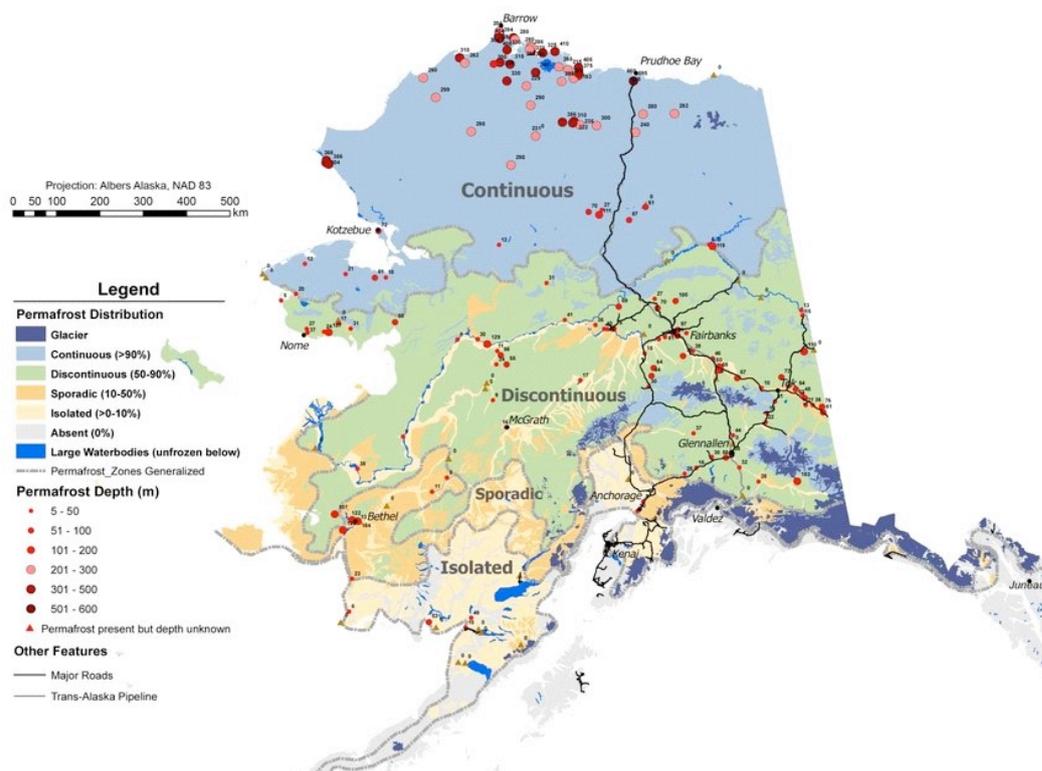


Fig. 3.5. Schématisation de la distribution du permafrost et des glaciers dans l'État de l'Alaska (Jorgenson et al., 2008 in Coe, J.A., 2016)

3.2.2. Les causes du dégel

Le permafrost en Alaska est en plein bouleversement. Depuis plus d'une dizaine d'années, il a perdu 0,1 cm – 0,5 cm par an. (Letterly, A., 2018) L'épaisseur de la couche active quant à elle a augmenté.

En effet, elle dégèle de plus en plus profondément. En 2018, la couche active dégelait sur environ 84 cm alors qu'au début de la décennie, elle ne dégelait que sur 51 à 61 cm. (Thoman, R. et Walsh, J., 2019)

L'augmentation de la température du permafrost n'est pas identique sur tout le territoire de l'Alaska. Le permafrost continu dans l'extrême-Nord a augmenté de 0,3°C – 0,8°C par décennie depuis 40 ans alors que le permafrost discontinu à l'intérieur des terres a augmenté de moins de 0,3°C par décennie. Cette augmentation amène les températures moyennes du permafrost juste en dessous du point de congélation (Blunden, J. et Arndt, D.S., 2020 ; van Huissteden, J., 2020)

Au cours du siècle précédent, la TAS de l'Alaska a augmenté de près de 2°C, ce qui est bien supérieur à la moyenne du reste des États-Unis. La température moyenne annuelle observée depuis 2014 dépasse chaque année le record précédent. C'est en hiver que cette augmentation est la plus drastique. Avant 1960, chaque période hivernale comptait plus de 40 jours de températures à -34°C. Depuis les dernières décennies, le nombre est passé à moins de 30 jours par période hivernale. (Cappucci, M., et al, 2019 ; Thoman, R., et Walsh, J., 2019 ; Richter-Menge, j., et al., 2019). L'été 2019 a été le plus chaud jamais enregistré. Avec des températures pouvant atteindre 32°C en juillet. Cette vague de chaleur est 3°C plus élevée que la moyenne pour la même période. (NASA, 2019 ; Di Liberto, T., 2019)

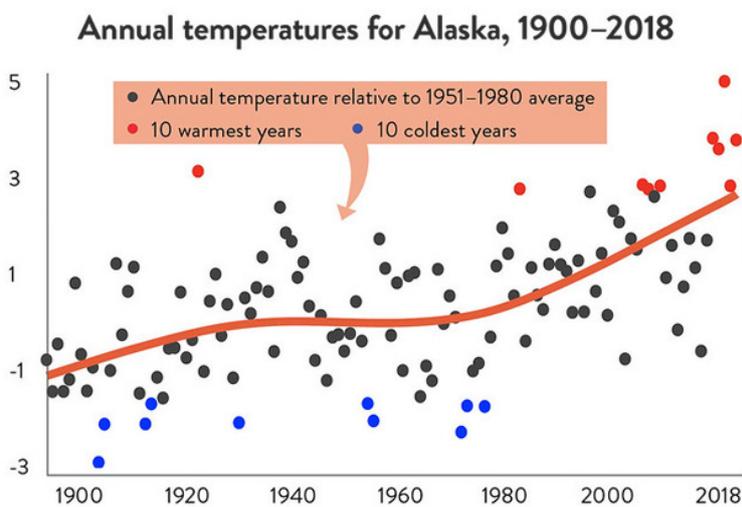


Fig. 3.6. Schématisation des TAS de l'Alaska de 1900 à 2018 en relation avec la moyenne de 1951 à 1980. Les points rouges représentent les 10 années les plus chaudes. Les points bleus, les 10 années les plus froides. La ligne rouge représente la tendance générale. (Thoman, R., et Walsh, J., 2019)

Credit: Rick Thoman, Alaska Center for Climate Assessment and Policy.
Data source: NASA GISS & UAF/Brian Brettschneider

L'État est entouré de différentes mers qui sont généralement recouvertes d'une couche de glace de mer. Cependant, la température des eaux entourant l'Alaska est en constante augmentation. En 2019, la température moyenne de la surface de la mer des Tchoukches et de Beaufort a augmenté de 1°-7°C par rapport à la moyenne de 1982 à 2010. Cette augmentation est une cause et une conséquence directe de la disparition de la glace de mer. En effet, cette couche glacée est importante pour le mécanisme de rétroaction glace-albédo qui a lieu dans les mers. Sans la glace de mer, les rayons du soleil ne sont pas

réfléchis et ils réchauffent ainsi les mers qui par la suite font fondre la glace, et ainsi de suite. (Richter-Menge, j., et al., 2019 ; Thoman, R., Walsh, J., 2019) Selon une étude, le réchauffement des mers serait également dû à l’Océan Pacifique Nord, qui s’est réchauffé et qui agirait comme une source supplémentaire de chaleur. (Yeo, S.-R., et al., 2014)

La couverture de glace de mer joue un rôle très important dans le changement climatique et dans l’oscillation des températures marines et terrestres. Malheureusement la CGM a presque disparu, avec un retrait précoce de celle-ci dans les mers de Béring et des Tchouktches. Ces dernières années, la CGM de la mer de Béring est plus stable que le reste de la CGM arctique. En juillet 2019, il restait 20% de la CGM dans la mer des Tchouktches. (Annexe 8) (Cappucci, M., et al, 2019 ; Richter-Menge, j., et al., 2019) En août de la même année, plus aucune CGM ne pouvait être aperçue jusqu’à 240 Km des côtes. (The climate reality project, 2020) De manière générale, pendant trois à quatre mois par an, les mers autour de l’Alaska sont libres de toute glace. (Thoman, R. et Walsh, J., 2019)

La couverture neigeuse en Alaska est occupée à disparaître de plus en plus tôt. En effet, la durée des périodes d’enneigement se réduit. En comparaison avec la fin des années 1990, la neige fond en moyenne deux semaines plus tôt à chaque printemps, ce qui rallonge la saison estivale sans neige. (Thoman, R. et Walsh, J., 2019) Depuis le 19e siècle, les journées sans neige ont augmentées de 10%. (Stewart, B.C., et al 2017) La réduction de la période neigeuse n’est cependant pas synonyme d’une réduction de la quantité de chutes de neige.

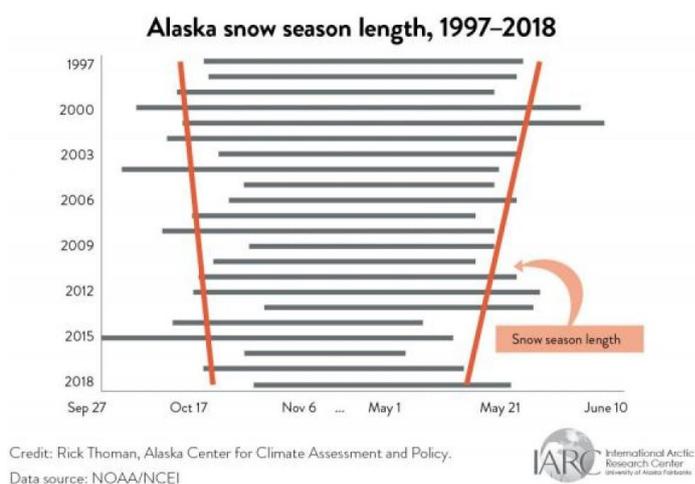


Fig. 3.7. Schématisation des périodes de neige de 1997 à 2018. Les barres grises représentent la durée de chaque période pour chaque année. Les barres oranges représentent la date à laquelle : (Gauche) l’État est couvert à 50% de neige, (Droite) 50% de la neige hivernale fondue. (Thoman, R. et Walsh, J., 2019)

Une autre menace qui plane sur les couvertures nivales est l’assombrissement de la neige. Effectivement, la neige fraîche est généralement plus claire que la neige plus ancienne. Cette vieille neige absorbe plus de rayons du soleil car elle a un albédo moins élevé que de la neige blanche. L’ancienne couche se réchauffe et lorsque de nouvelles chutes de neiges arrivent, elles fondent plus rapidement au contact du sol légèrement plus chaud. Ainsi, les champs de neige blanche sont occupés à disparaître. En 1985, il y avait 88 km² de champs de neige blanche alors qu’en 2017 il n’en restait plus que 10 km². (Thoman, R. et Walsh, J., 2019) Comprendre et connaître la date de fonte de la neige est

important pour déterminer la vitesse du dégel de la couche active du permafrost et ainsi pouvoir mieux gérer les conséquences de ce dégel.

L'augmentation de la couverture nuageuse en Alaska a lieu principalement en été. En effet, les saisons estivales deviennent de plus en plus chaudes et humides. D'août 2018 à juillet 2019, il y a une moyenne de 96 cm de précipitation, ce qui constitue environ 20 cm au-dessus de la moyenne. (Leslie, J., 2019) La relation entre la hausse des précipitations et le dégel du permafrost est encore peu explorée. Néanmoins, selon une étude, le permafrost dégèle de $0,7 \pm 0,1$ cm par cm de pluie supplémentaire. Dans les zones humides, qui sont en général déjà plus vulnérables au dégel, chaque cm de pluie supplémentaire entraîne un dégel de ± 1 cm. (Douglas, T.A., et al., 2020)

3.2.3. Évolutions actuelles

Le dégel du permafrost en Alaska a de nombreuses conséquences sur l'écosystème de l'État, qu'il soit terrestre ou marin. Ces répercussions ont également une influence sur des phénomènes impactant le monde entier.

De 2012 à 2014, les régions de la Toundra et des forêts boréales de l'Alaska ont rejeté, en moyenne, $0,025 \pm 0.014$ Pg de carbone par an. (Blunden, J. et Arndt, D.S., 2020) Durant les mêmes années, une étude de 2017 constate que le rejet de CO₂ est plus important en début de période hivernale et qu'il a augmenté de $73\% \pm 11\%$ depuis 1975. (Commane, R., et al., 2017)

Selon plusieurs recherches, la quantité d'oxyde nitreux rejetée par le dégel du permafrost est plus élevée que ce que l'on pensait auparavant. Ce gaz est 300 fois plus puissant que le dioxyde de carbone. Sa présence pourrait accélérer considérablement le dégel du permafrost. (Wilkerson, J., et al. 2019 ; Voigt, C., et al. 2016)

Les changements dans le régime lacustre sont une des conséquences du dégel du permafrost. Les États-Unis, et principalement l'Alaska, comptent pour $\pm 12\%$ de tous les lacs glaciers du monde. Alors que certains lacs disparaissent, d'autres apparaissent. (Shugar, D.H., et al., 2020) En général, depuis 1990, la quantité de points d'eau a augmenté mais il y a une perte nette de la superficie des lacs. La multiplication des points d'eau a plusieurs origines. Soit parce que l'eau s'écoule d'un autre endroit, soit car le permafrost a dégelé à un endroit et de saison en saison, ces lacs thermokarstiques s'agrandissent et se multiplient. (Jones, B., 2011 ; Walter Anthony, K. et al., 2018)

Les lacs thermokarstiques sont des réservoirs de gaz à effet de serre. Le rejet de méthane actuel a lieu principalement le long des marges des jeunes lacs thermokarstiques et des petites dépressions, lorsque le dégel est le plus actif. Les lacs thermokarstiques se situant dans le permafrost de yedoma sont six fois plus riches en méthane que tout autre type de lacs en Alaska (Vonk, J.E., 2015 ; in 't Zandt,

M.H., 2020) Selon une étude, les lacs thermokarstiques créés par un dégel brutal pourraient tripler les émissions de gaz à effet de serre. (Walter Anthony, K. et al., 2018)

Le dégel qui a lieu en Alaska est, après la fonte des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique, la principale cause de l'élévation du niveau des eaux depuis 50 ans. (Arendt et al. 2002 in Richter-Menge, j., et al., 2019 ; Thoman, R. et Walsh, J., 2019)

La fonte des glaciers et le dégel du permafrost, notamment alpin, ébranle les fondations sur lesquelles certaines montagnes sont érigées, créant ainsi des éboulements qui, dans certains cas, provoquent des Tsunamis. (Gruber, S., Haeberli, W., 2007 ; Bessette-Kirton, E.K., et., Coe, J.A., 2020) Cela a été le cas en 2015, lorsqu'un glissement de terrain du glacier Tyndall a créé un tsunami qui a atteint une hauteur de 193 m sur les pentes du fjord Taan, rasant sur son passage de nombreuses forêts. Ce glissement n'a pas été brutal et avait commencé des décennies avant la catastrophe. (Higman, B., et al, 2018)

L'érosion des terres et de la côte est une des conséquences actuellement visibles et qui touche déjà une partie de la population et de l'écosystème de l'Alaska. La côte nord de l'État recule en moyenne de 1,4 m par an. À certains endroits, cette érosion s'élève jusqu'à 20m par an. Ce changement affecte de nombreuses espèces, qu'elles soient végétales ou animales. (USGS, 2020)

Depuis 1982, le versant nord de l'Alaska devient plus vert. Avec le dégel du permafrost et l'augmentation de la température, la végétation dans cette partie de l'État est en pleine expansion. De 1985 à 2016, 38% de nouvelles espèces sont venues s'intégrer au sein de cet écosystème. (Berner L.T., et al., 2018) En opposition à ce « verdoisement », le Sud-Ouest de l'Alaska est occupé à brunir. Cette tendance a plusieurs origines telle qu'une baisse de la productivité de la flore ou l'augmentation des feux de forêts. (van Huissteden, J., 2020 ; Thoman, R. et Walsh, J., 2019)

La saison des feux de forêt a tellement rallongé qu'en 2006, l'organisation de gestion des incendies a changé la date du début de la saison du 1er mai au 1er avril. Depuis 1990, la quantité de feux brûlant 1 acre a augmenté de 50%. (Thoman, R. et Walsh, J., 2019) De 2000 à 2010, les incendies brûlaient, en moyenne, 1.3% du territoire chaque année. (Stewart, B.S., et al 2017) Ces feux de forêt sont également de grandes sources d'émissions de carbone. En 2007, un incendie ravagea 1039 km² de toundra dans le massif de Brooks et l'écosystème perdit 2016 ± 435 g C m⁻², dont 72% était du carbone enfoui dans le sol. Au total, cet incendie rejeta 2.1 Tg C dans l'atmosphère. (van Huissteden, J., 2020) La saison des feux en 2019 a été une des plus virulentes jamais enregistrée avec plus de 2,5 million d'acres brûlés. Ces feux sont causés par des événements climatiques comme la foudre mais également par l'Homme. (Law, T., 2019)

Les individus vivant dans l'écosystème de l'Alaska ont pour beaucoup modifiés leurs habitudes en raison du changement de leur habitat. Pour certains, les conséquences sont dramatiques comme pour les

morses qui ont perdu une très grande partie de leur territoire, les saumons qui meurent à cause de la chaleur ou le nombre d'oiseaux marins qui a diminué de 13% entre 2006 et 2015. Pour d'autres, cet habitat est positif comme pour les castors qui colonisent de plus en plus de terres. Ce changement a également un impact sur le reste de l'écosystème. Les castors construisent des barrages, ce qui influence fortement les différents plans d'eaux arctiques. (Thoman, R. et Walsh, J., 2019 ; Jones, B.M. 2020 ; IPCC, 2019)

3.2.4. Évolutions futures

Les recherches faites à propos du dégel du permafrost permettent de mettre en lumière de nouvelles clés de compréhension qui changent notre perception et font évoluer nos connaissances. Celles-ci permettent de mieux comprendre quels impacts auront lieu dans le futur afin de pouvoir s'y préparer et tenter de les contrer.

Selon certaines prévisions, la température de l'État augmenterait en moyenne de $\pm 6^{\circ}\text{C}$ dans le nord et 4°C dans le sud si l'Homme ne baisse pas ses émissions de gaz à effet de serre. Cependant, si une réduction importante est mise en place, les températures de l'État n'augmenteraient que de 4°C dans le nord et 3°C dans le sud. (Melillo, J.M, 2014)

57% du territoire de l'Alaska verra son permafrost dégeler entièrement ou partiellement d'ici la fin du siècle. La rétroaction du permafrost-carbone que cela entraînera équivaudra à plus ou moins la deuxième plus forte source anthropique de gaz à effet de serre. (Walter Anthony, K. in Gray, E., 2018) Selon une étude, le dégel brutal du permafrost aura dans le futur la même importance, que ce soit dans un scénario de réduction des émissions ou dans le scénario extrême (RCP 8,5). Le dégel brutal relâchera dans l'atmosphère de grandes quantités de méthane. (Walter Anthony, K. et al., 2018) Plusieurs recherches s'attendent à ce que 30 à 40% de la couche nivale disparaisse pour 2050. (Blunden, J. et Arndt, D.S., 2020 ; AMAP. 2012) D'ici 2050 et sous le scénario extrême (RCP8,5), la moyenne des précipitations globales devrait augmenter de 10%, ce qui aura aussi un impact sur la couche nivale ainsi que sur la végétation.

Les systèmes aquatiques seront également très touchés dans le futur. La température des mers entourant l'Alaska vont continuer d'augmenter. (IPCC 2019) Ceci aurait entre autre comme conséquence une disparition de la glace de mer pour la fin de l'été 2030 dans les scénarii les plus pessimistes ou pour 2050 selon d'autres scénarii. (Melillo, J.M, 2014)

Si tous les glaciers de l'Alaska venaient à disparaître, cela augmenterait le niveau de la mer de $\pm 3,8$ cm. La montée des eaux ne sera pas le seul impact auquel les océans devront faire face. Selon une étude récente, les risques de tsunamis provoqués par des glissements de terrains vont augmenter, impactant non seulement les populations locales mais également l'industrie touristique. (Gruber, S., et Haeberli,

W., 2007 ; Bessette-Kirton, E.K., et Coe, J.A., 2020) Selon 14 scientifiques, un nouveau glissement de terrain au-dessus du glacier Barry pourrait créer un nouveau tsunami. Cet événement pourrait se produire probablement endéans les 20 prochaines années. (Briggs, C., et al., 2020)

La fréquence des feux de forêts au sein de l'État devrait doubler d'ici 2050 et tripler d'ici la fin du siècle si les émissions sont maintenues au même niveau.(Stewart, B.S., et al 2017 ; The climate reality project, 2020) La superficie moyenne brûlée au cours du 21e siècle sera plus élevée que la moyenne historique. L'augmentation des feux et la modification de tout le système aquatique aura une grande influence sur la végétation. Les forêts d'épicéas vont être remplacées par des forêts de feuillus car moins inflammables. (IPCC, 2019)

La transformation de la végétation de l'Alaska aura un grand impact sur la faune locale. Pour certaines populations, l'accès à une bonne alimentation ainsi qu'à un espace de vie sera réduit. Pour d'autres, l'espace et l'alimentation vont augmenter. Sur 201 espèces, l'habitat de 52% d'entre elles va augmenter et pour 43%, il va diminuer, touchant ainsi les petits mammifères. Cela aura un impact sur toute la chaîne trophique car ils constituent l'alimentation de base pour d'autres espèces. De plus, sur une cinquantaine d'espèces utilisées par l'Homme, la moitié d'entre elles verront leur habitat diminuer. (Vizcarra, N., 2016)

3.3. Le permafrost en Sibérie.

3.3.1. Présentation de la Sibérie

La Sibérie est une macro-région géographique couvrant le centre et l'Est de Fédération de Russie. Elle n'a pas de frontières précises car celles-ci dépendent de variantes géographiques, économiques et administratives-politiques. Afin de pouvoir avoir une compréhension plus approfondie de la problématique du dégel du permafrost dans cette macro-région, nous avons décidé de délimiter la Sibérie de la manière la plus vaste possible. Cette macro-région représente donc 77% de la superficie du pays avec 13.1 millions de Km² soit environ 9% de la surface terrestre émergée. Cette macro-région géographique est politiquement et économiquement divisée en plusieurs niveaux. Politiquement, elle est divisée depuis 2002 en trois districts fédéraux. D'Est en Ouest, il y a le district fédéral de l'Oural, le district fédéral Sibérien et le district fédéral extrême-oriental. Chacun de ces districts est administré par un représentant du gouvernement fédéral accrédité par le président de la Fédération de Russie. Ces districts sont tous composés de différents sujets fédéraux. Il y a 12 oblasts, 6 Kraïs, 5 républiques, 3 districts autonomes et un oblast autonome. Ces 27 sujets sont tous égaux en droit. Ils sont donc égaux entre eux et avec le pouvoir fédéral. Économiquement, la macro-région est divisée en trois parties, celle de la Sibérie occidentale, la Sibérie orientale et la Sibérie d'extrême orient. Dans cette division, il y a 3 oblasts de l'Ouest en moins.

Géographiquement au nord, la macro-région est bordée par les mers de Kara, de Laptev, de Sibérie orientale et des Tchouktches et l'Océan Arctique. À l'Est se trouvent les mers de Béring et d'Okhotsk ainsi que l'Océan Pacifique. Au sud, les pays frontaliers sont la république populaire démocratique de Corée, la république populaire de Chine, la Mongolie et la république du Kazakhstan. La chaîne de montagnes de l'Oural sépare à l'Ouest la Sibérie et la Russie-Européenne.

Avec une population en 2020 d'environ 37 millions d'habitants, cette macro-région contient 25% de la population totale du pays. Elle a une densité d'environ 3 habitants / km², ce qui en fait une des régions les moins peuplées du monde. La grande majorité de la population vit dans des villes qui bordent les rails du Transsibérien. Les populations vivant plus au nord et nord-Est sont principalement des peuples indigènes vivant en plus petites communautés.

La Sibérie est très riche en ressources naturelles tel que l'or, le nickel, le plomb, le diamant, le cuivre, le mica, mais aussi le gaz naturel, le pétrole et le charbon. La production du charbon en Sibérie représente environ les $\frac{3}{4}$ de la production du pays. L'industrie minière est pour cela le principal secteur ouvrier de cette macro-région. D'autres secteurs importants sont la pêche ainsi que la foresterie. Pourtant, la macro-région n'est pas riche. Il existe une grande disparité entre les centres industriels puissants et le reste de la macro-région qui est très faiblement développée.

Avec une telle surface, la géographie et topographie de cette macro-région est très différenciée. La majorité de son territoire se trouve au-delà du cercle polaire. Cette macro-région est généralement divisée en trois parties : les plaines de la Sibérie de l'Ouest, les basses terres de la Sibérie du Nord et le plateau central sibérien. La macro-région possède également plusieurs chaînes de montagnes et tout à l'Est se situe la ceinture de feu avec une multitude de volcans dont certains sont encore en activité. La quasi-totalité de la végétation de cette macro-région est de la taïga. Cependant, au nord, il y a des zones de toundras et au Sud des forêts tempérées. La Sibérie abrite également une multitude d'animaux dont certains sont endémiques comme le phoque d'eau douce du lac Baïkal, le léopard des neiges, le léopard de l'amour ainsi que l'emblématique tigre de Sibérie.

65% de la Russie est couverte par du permafrost. (Streletskiy, D.A., et al., 2019) La grande majorité du permafrost de l'hémisphère nord se situe en Sibérie. Seul le Sud-Ouest et quelques petites macro-régions du Sud-Est ne sont pas couverts par du permafrost. Le reste de la macro-région est en grande partie recouverte en continu avec quelques zones de discontinu et de sporadique. À certains endroits, le permafrost peut descendre jusqu'à 700m. (Priémé, A., 2020) Les zones les plus riches en glace sont les dépôts de Yedoma au centre-Nord, ainsi que les péninsules de Yamal et de Gydan. Le permafrost dans cette macro-région est également très riche en glace. (IPCC, 2019) Le permafrost dans la Sibérie-Occidentale est particulièrement fin et vulnérable aux changements. (van Huissteden, J., 2020) Les mers au nord de la Sibérie ont également une grande quantité de permafrost sous-marin. (Annexe 9)



Fig. 3.8. Schéma représentant la présence de permafrost en Russie. Il y a quatre zones représentées par quatre teintes de violet. La plus foncée représente le permafrost continu, la zone légèrement plus claire représente le permafrost discontinu, celle encore plus claire le permafrost sporadique et enfin la zone la plus claire représente les parcelles de permafrost isolées. (Obu, J., et al., 2019)

3.3.2. Les causes du dégel

La couche active du permafrost en Sibérie est en moyenne occupée à grossir et donc à devenir plus profonde. Dans l'Est de la macro-région, de 1950 à 2008, la couche active au sein du permafrost discontinu a augmenté de 17,4 à 58 cm par an. (van Huissteden, J., 2020) dans certaines zone, la couche active à augmenter jusqu'à 70 cm (Streletskiy, D.A., et al., 2019) La côte russe est également entourée de plusieurs mers mais surtout de permafrost sous-marin. Ce dernier a été formé il y a environ 2,5 millions d'années, lorsque les plateaux continentaux n'étaient pas recouverts d'eau. Lorsque cette période glaciaire a pris fin et que les glaciers ont fondu, ce permafrost a été submergé. (Shakhova, N., 2017) Le plateau arctique de la Sibérie orientale, composé des mers de Laptev, de Sibérie orientale et la mer de Tchoukches, représente environ $\frac{1}{4}$ du plateau continental Arctique et contiendrait plus de 80% du permafrost sous-marin. (Mitzscherling, J. 2017) Plusieurs études de la chercheuse Shakhova tentent d'apporter des réponses concernant ce permafrost sous-marin. Selon ses recherches, le plateau arctique de la Sibérie orientale contiendrait aujourd'hui 1400 Pg de CH_4 . Il y aurait déjà de vastes fuites de ce méthane depuis des dépôts sous-marins d'hydrate de méthane. (Shakhova, N., et al., 2010)

La température du permafrost continu et discontinu a fortement augmenté. Dans le Nord-Est de la Sibérie, le permafrost continu a augmenté de $0,90^\circ\text{C}$ par rapport à 2008-2009. Pour la même période, le permafrost se trouvant dans le Nord-Ouest de la Sibérie a augmenté de $0,93^\circ\text{C}$. Dans le Sud-Est, le

permafrost discontinu a quant à lui augmenté de 0,95°C par rapport à 2008-2009. (Biskaborn, B.K., et al., 2019)

Depuis l'ère préindustrielle, la température de la Sibérie a augmenté en moyenne de 1°C. La macro-région a subi une canicule importante lors des six premiers mois de 2020 avec une TAS 5°C supérieure à la moyenne de 1981-2019. L'Hiver de 2019 à 2020 a été le plus chaud en 140 ans. (Annexe 10) En été, le mois de juin 2020 a été le plus chaud jamais enregistré avec une augmentation moyenne de 10°C de la TAS. La ville de Verkhoyansk dans le Nord-Est de la Sibérie a atteint le 20 juin 38°C. L'augmentation de la température au niveau mondial est la plus sévère dans la Sibérie occidentale. Selon une étude de WMO, les activités humaines ont augmenté la probabilité de cette vague de chaleur de 600 fois. (WMO, 2020 ; Copernicus, 2020 ; Borunda, A., 2020 ; NASA, 2020)

En moyenne, la côte Nord de la Sibérie est libre de glaces vers la fin de l'été. (van Huissteden, J., 2020) La mer de Laptev a été la plus touchée par les températures élevées de 2020. La température de l'air au-dessus de la mer de Laptev était jusqu'à 8°C supérieure à la moyenne. Sa CGM a disparu beaucoup plus tôt dans l'année et est réapparue plus tard dans l'année. Cette arrivée tardive de glace dans la mer de Laptev aura une conséquence pour le reste de l'Arctique car c'est une mer qui, grâce à des conditions spécifiques, est une « pouponnière » à glace de mer. Les mers de Kara et Barents ont été relativement stables en 2020 malgré la disparition plus tôt de la CGM dans la mer de Kara. (Annexe 11) (Labe, Z., 2020 ; NSIDC, 2020 ; Reimnitz, E., et al., 1994) Depuis le milieu des années 1960, la côte sibérienne a perdu 3,3 cm d'épaisseur de banquise côtière par décennie. La banquise côtière est de la glace de mer immobile car elle est ancrée à la terre. (IPCC, 2019) Cette absence de glace a permis d'ouvrir le passage entre l'Océan Atlantique et l'Océan Pacifique pendant environ 112 jours. (Annexe 12) (Rohde, R. ; 2020)

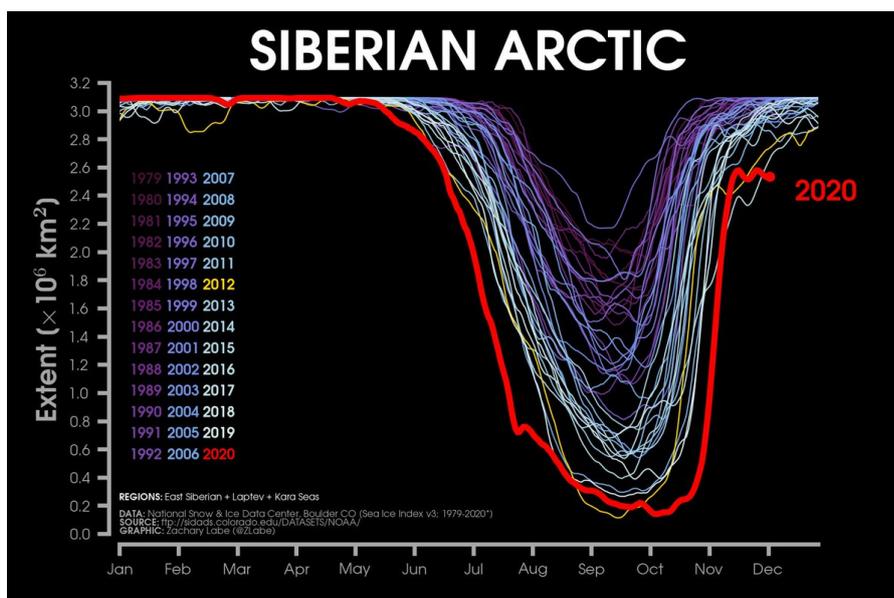


Fig. 3.9. Schématisation globale des CGM pour 3 mers de la Sibérie : les mers de la Sibérie Orientale, de Laptev et de Kara. La ligne jaune représente la CGM moyenne pour 2012 et la ligne rouge représente la CGM moyenne pour 2020 (Labe, Z., 2020)

Depuis le milieu du 20e siècle, la durée d'enneigement a diminué en Sibérie. Son épaisseur quant à elle varie selon les zones. Dans l'Ouest, elle est en augmentation d'année après année. Dans le centre et l'Est, cette couche est stable mais dans l'Extrême-Orient sibérien, la durée d'enneigement ainsi que l'épaisseur sont occupées à diminuer de manière drastique. La couverture neigeuse joue un rôle important dans le réchauffement du permafrost car une couche dense a un effet de couverture qui empêche la chaleur du sol de se dissiper. (van Huissteden, J., 2020 ; AMAP, 2012 ; Copernicus, 2020 ; Biskaborn, B.K., 2019)

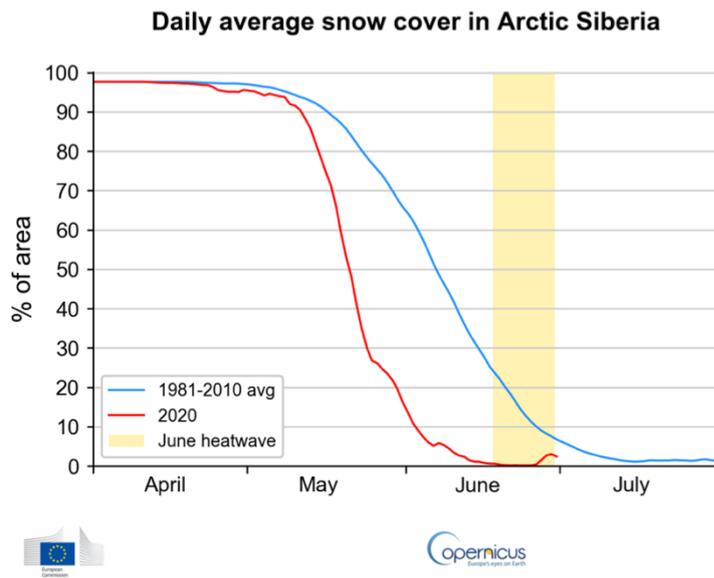


Fig. 3.10. Schématisation de la couverture nivale dans la Sibérie Arctique du mois d'avril au mois de juin. La ligne bleue représente la moyenne de 1981 à 2010. La ligne rouge représente la couverture neigeuse pour 2020. La colonne jaune enfin représente la canicule fin juin. (Copernicus, 2020)

La couverture nuageuse est également en plein changement. De 1976 à 2005, il y a eu une augmentation de la couche nuageuse. Mais à partir de 2006 jusqu'en 2013, la couverture nuageuse de basse altitude a fortement baissée. (Komarov, V.S., et al., 2015) Lors de l'été 2020, la vague de chaleur a été accompagnée par une augmentation de la pression atmosphérique. Ce phénomène piège l'air chaud et le comprime plus près du sol mais éloigne également les nuages de basse altitude. Ce qui a eu comme conséquence d'augmenter la quantité de rayons solaires directement absorbés par les sols et océans.

3.3.3. Évolutions actuelles

La grande majorité du carbone se situe dans les trois premiers mètres du permafrost. Cependant, 25% à 30% se trouve dans la région de Yedoma à une profondeur en dessous de 3m. (IPCC, 2019 ; Schuur, E.A.G. et al., 2015 ; Blunden, J., et Arndt, D.S., 2020)

Dans l'Ouest et Nord-Ouest et la Sibérie se trouve un type de cryovolcan. Ces cratères sont créés suite à un réchauffement climatique plus intense dans cette zone. Ils émettent notamment du méthane provenant de réservoirs sous pression dû aux drainages des lacs liés au dégel du permafrost ainsi qu'à la re-congélation du talik. (van Huissteden, J., 2020) La zone la plus problématique actuellement est le plateau Arctique de la Sibérie orientale. En effet, il y a beaucoup de spéculations concernant cette zone et son dégel. À l'heure actuelle, nous savons que le plateau relâche du CH₄ sous forme de bulles qui

remontent à la surface. Son permafrost relâcherait en moyenne 17 Tg de CH₄ par an. (GRID-Arendal, 2020 ; Schuur, E.A.G. et al., 2015) Cependant, il n'y a pas de preuve que cette libération de CH₄ est liée au changement climatique sachant que les premiers articles évoquant cette libération ont été publiés avant la nouvelle augmentation du CH₄ dans l'atmosphère de 2007. (Petrenko, V.V., et al., 2010)

Dans le permafrost discontinu de l'Ouest, les lacs ont en moyenne 0,5 m à 1,5 de profondeur. Certains lacs plus profonds de plus de 10 m peuvent être trouvés dans le Nord de la Sibérie. En général, la Sibérie a perdu 6% de la superficie de ses lacs. Au sein du permafrost discontinu, notamment de l'Ouest de la macro-région, il y a une diminution du nombre de lacs entre 12% et 29%. Dans le permafrost continu, il y a cependant une augmentation de la superficie des lacs de 11% à 42%. Ce pourcentage varie selon les zones. (IPCC, 2019 ; van Huissteden, J., 2020) Depuis la fin de la dernière période glaciaire, 70% du permafrost de Yedoma a été touché par les lacs de dégel. (Schuur, E.A.G. et al., 2015) L'augmentation de la quantité a également un impact sur les gaz à effet de serre car c'est lors de leurs premiers moments de vie que les lacs thermokarstiques rejettent le plus de GES (Vonk, J.E., et al., 2015) Entre 1976 et 2017, le débit des grands fleuves sibériens a augmenté de $3,3 \pm 1,6\%$ (IPCC, 2019) Le niveau des mers entourant la Sibérie subit un accroissement. De 1954 à 1989, le niveau de la mer s'est élevé de 0,185 cm an⁻¹. (Proshutinsky, A., et al, 2004)

L'érosion des côtes de la Sibérie arctique augmente et ce, principalement dû à la disparition de la glace de mer, des vagues plus grandes, la montée du niveau de la mer et du dégel du permafrost. Les côtes le long des mers qui bordent la Sibérie sont les plus touchées par le phénomène d'érosion. Les côtes se dégradent de 20m à 30m par an. (Handwerk, B. 2011) Dans les terres, ce sont les zones de Yedoma qui sont les plus touchées par le phénomène d'érosion. (Günther, F., et al, 2013) La rivière de Lena a ainsi perdu de 2015 à 2018, 16 m de berges par an alors qu'en 1960 elle ne perdait que 5 m par an. (Science daily, 2020) Dans le district de Kolyma, en 1970, la terre s'affaissait d'environ 60 cm par an. (Troianovski, A. et Mooney, C., 2019)

La végétation joue un grand rôle dans la modification de la couverture nivale et ainsi du dégel du permafrost. Il y a une augmentation de la productivité végétale sur toute la macro-région. Seules certaines zones de la Sibérie occidentale sont occupées à brunir. Le Nord-Ouest de la Sibérie a ainsi perdu 2% à 4% de sa couverture végétale. La limite des arbres avance vers le Nord. Cette avancée est plus visible dans les hautes terres. Les basses terres sont moins touchées par ce phénomène car il y a plus de zones humides qui retardent l'expansion de la limite des arbres. Le dégel du permafrost dans la Sibérie occidentale contribue à la perte de 70% de la tourbe dans ses tourbières. Cela a comme conséquence d'affaiblir encore plus les sols déjà amoindris par le dégel. (van Huissteden, J., 2020) Depuis 1990, la quantité de terres cultivables en Yakoutie a diminué de moitié. (Troianovski, A. et Mooney, C., 2019)

L'été 2020 a été le plus chaud jamais recensé avec des températures pouvant monter jusqu'à 38°C. Les sols déjà fragilisés sont devenus plus secs et les tourbières ont particulièrement été touchées par cet assèchement. Cela a donné une quantité de feux de forêts battant tous les records. Ces derniers sont de plus en plus nombreux mais également plus extrêmes. Le mois de juin 2020 a rejeté plus de pollution dans l'atmosphère que n'importe quel autre mois enregistré depuis 18 ans. Les émissions de CO₂ de 2020 s'élèvent à 395 Tg pour la république de Sakha dans l'Est de la Sibérie. Le district fédéral extrême-oriental a rejeté de juin à août 2020, 540 Tg de CO₂. La Russian Wildfires Remote Monitoring System a recensé plus de 18.591 feux au sein des deux districts de l'Est. Une autre problématique liée aux feux et qui est de plus en plus présente est les feux zombies. Il s'agit de feux qui brûlent tout au long de l'année. En hiver, ils couvent sous la glace et reprennent vie en été. (Lopez, N., 2020 ; Witze, A., 2020)

La faune sibérienne change énormément. En Yakoutie et depuis 2011, la quantité de bétail a diminué de 20%. (Troianovski, A. et Mooney, C., 2019) Une migration vers le nord a été observée chez certaines espèces, principalement chez des groupes taxons (IPCC, 2019) De nouvelles espèces viennent donc vivre en Sibérie tel que 48 nouvelles espèces d'oiseaux qui ont été recensées. Il s'agit d'une augmentation de 20% de la diversité des oiseaux.

Le permafrost sibérien contient de nombreux virus. Certains sont connus mais une partie d'entre eux sont encore inconnus des chercheurs. En 2014, un groupe de chercheurs a réussi à réanimer le Pithovirus sibericum, un virus géant vieux de 30.000 d'années. (Legendre, M., et al, 2014) D'autres virus ont depuis lors été réanimés. En 2016, il y a eu une épidémie d'anthrax dans la péninsule de Yamal qui a tué plus de 200.000 rennes et un Humain. Cette nouvelle a été énormément relayée par la presse mais comme l'énonce un article de 2020, le dégel du permafrost n'est pas le seul responsable. En effet, il y a une réduction des terres, une augmentation des individus, ainsi qu'une réduction de la vaccination qui sont des facteurs qui participent à l'augmentation de la contamination. (Hueffer, K., et al., 2020)

3.3.4. Évolutions futures

Si la tendance continue, d'ici 2050 les températures du Nord de la Sibérie pourrait augmenter de 1,2°C- 2,5°C par rapport à 1990. Dans le pire des scénarii les températures pourraient même augmenter jusqu'à 7°C (Ciavarella, A., et al., 2020)

Le permafrost sous-marin contient de larges quantités de CH₄. Si seulement 1% de celui-ci devait s'évaporer, il aurait deux fois plus d'impacts que la même quantité de CO₂ atmosphérique. (AMAP, 2012) Selon une étude de l'équipe de la chercheuse Shakhova, le permafrost sous-marin pourrait relâcher jusqu'à 50 Pg de méthane à tout moment endéans les 5 à 50 ans dû à un dégel brutal. Cela augmenterait la quantité de méthane dans l'atmosphère par 12. Ce modèle est connu sous le nom de « Méthane time bomb ». (Shakhova, N., et al., 2010) Cependant, selon une autre étude de 2011, une

déstabilisation du permafrost, même sous une mer peu profonde, n'advierait pas avant la fin de notre millénaire. (Dmitrenko, I.A., et al, 2011)

Si aucune baisse d'émissions n'est faite, la cryosphère va être fortement impactée. Le permafrost sera plus affecté dans le sud de la Sibérie que dans le nord. La limite des zones de permafrost discontinu va monter vers le nord avec le dégel partiel ou complet de certaines zones sporadiques et discontinues (IPCC, 2019 ; van Huissteden, J., 2020) La disparition de 78% des glaciers du Nord-Est de la Sibérie est prévue pour 2070. D'ici 2050, la durée moyenne d'enneigement ne va diminuer de moins de 10% alors que son épaisseur devrait augmenter de 15% à 50%. (AMAP, 2012) L'équivalent en eau de la mer au sein de la couche neigeuse, quant à lui, devrait augmenter de 15% à 30%. Cela engendrera une neige plus compacte et une participation à l'augmentation de la température du permafrost. (Callaghan, T.V., et al., 2012)

La disparition de la glace de mer aura également un impact sur les polynies. Soit elles cesseront d'exister, soit elles se créeront dans des zones où la couche de glace est plus fragile. Dans tous les cas, cette modification de l'apport de sédiments des polynies aura un impact sur tout le système biogéochimique et sur les flux de gaz associés. (IPCC, 2019)

Les systèmes aquatiques vont également être fortement modifiés. Il y aura une croissance des lacs thermokarstiques, car la période entre la création du lac et son drainage n'est pas seulement liée au climat. Elle est soumise à une multitude de facteurs environnementaux tel que la croissance du talik. C'est également durant cette période que le point d'eau rejette le plus de carbone. Dès lors, qu'importe le scénario RCP, il y aura une augmentation du nombre de lacs. (Walter Anthony, K. et al., 2018)

L'étendue maximale annuelle des inondations fluviales devrait augmenter de 2% à 5% d'ici 2050 suivant le scénario RCP 8,5. Cette augmentation sera plus présente dans l'Est de la Sibérie que dans l'Ouest. (van Huissteden, J., 2020)

La végétation connaîtra une modification de ses individus avec une augmentation des forêts de feuillus. (IPCC, 2019) Dans le Nord de la Sibérie, si le climat se réchauffe d'environ 2°C, les mélèzes seront remplacés par des conifères à feuilles persistantes. Une augmentation de la quantité de feux pourrait transformer les forêts de la Taïga du sud et du centre de la macro-région, en prairies. (van Huissteden, J., 2020)

Selon une étude de 2018, le réchauffement climatique permettra à l'anthrax de devenir plus apte à se propager dans l'Arctique car le dégel du permafrost expose entre autres des cadavres à l'air pendant plus longtemps. (Walsh, M.G., et al., 2018) Ce dégel pourrait également faire surgir des vieux virus et bactéries qui pourraient avoir un impact négatif sur la santé de certains individus de l'écosystème arctique. Cependant, la menace que ces virus représentent pour l'Homme reste faible. Comme l'explique

le professeur Mocarski, pour qu'un virus soit dangereux pour l'Homme, il faut que ce dernier n'existe plus actuellement et qu'il ait été congelé au sein de son hôte qui en est mort. (Sirucek, S., 2014)

4. INFRASTRUCTURES HUMAINES

4.1. Évolutions actuelles

Nous avons vu précédemment les causes et conséquences du dégel du permafrost pour les écosystèmes de l'Alaska et de la Sibérie. Nous n'avons cependant pas encore évoqué un des membres importants de cet équilibre fragile : l'Homme. Tantôt bourreau, tantôt victime, sa présence impacte fortement ce qui l'entoure et l'Arctique n'est pas une exception. Les gaz à effet de serre venant des activités humaines comme l'agriculture, le transport et l'industrialisation, ainsi que leurs infrastructures sont les principaux facteurs du changement climatique. L'Homme et ses activités ne sont pour autant pas épargnés par le dégel du permafrost. Depuis le milieu du 20^e siècle, la situation s'est aggravée. La sécurité alimentaire, l'économie, la qualité de l'eau et les conditions de vie en général subissent de manière négative les changements amenés par l'instabilité de l'écosystème arctique. Les routes, bâtiments et autres infrastructures se trouvant le long des côtes ou sur du permafrost discontinu sont les plus vulnérables au dégel du permafrost et à tous les impacts qu'il amène. (van Huissteden, J., 2020 ; IPCC, 2019 ; Bykova, A., 2020) Plus de 3,6 millions de personnes, soit les $\frac{3}{4}$ des habitants de l'Arctique, vivent dans des zones où le permafrost est très vulnérable au dégel. D'ici 2050, 100 aéroports, 13.000 Km de routes et plus de 36.000 bâtiments pourraient être endommagés uniquement dans les zones à hauts risques (Annexe 13) (Hjort, J. et al., 2018)

4.1.1. Alaska

4.1.1.1 Impacts des infrastructures humaines

Les activités humaines et leurs infrastructures ont des impacts directs et indirects sur l'environnement et ainsi sur le dégel du permafrost. En 2015, l'Alaska a rejeté 40 millions de tonnes métriques de carbone, ce qui représentent environ 0,63 % des émissions nationales de GES et 0,09 % des émissions mondiales de GES. Au sein du 49^e État des États-Unis, plusieurs secteurs dont le transport, l'exploitation minière, la pêche, le fret aérien et le tourisme sont des secteurs à forte intensité énergétique. Le transport et l'industrie à eux seuls comptent pour plus des $\frac{3}{4}$ des émissions de GES de l'État. (Annexe 14) (Alaska Department of Environmental Conservation Division of Air Quality, 2018) Les émissions de GES de pétrole en 2017 étaient de 14,5 millions de tonnes métriques, les émissions de charbon étaient de 1,6 millions de tonnes métriques et les émissions de gaz naturel étaient de 18,2 millions de tonnes métriques. (Knoema, 2020)

Le principal impact de l'industrie minière en Alaska est la contamination des eaux et de l'air dû aux résidus toxiques. L'Alaska a actuellement six mines en service. (Annexe 15) (Resource development council, 2020) Toutes les étapes de la prospection à la reconversion en passant par l'exploitation et la

maintenance ainsi que les nombreuses activités minières peuvent avoir un impact sur l'environnement. Le mercure, l'arsenic, le plomb ainsi que d'autres métaux lourds naturels sont libérés pendant le processus d'extraction. Le minerai est par la suite traité avec des solvants chimiques toxiques. Ces résidus ont impacté négativement la faune, la flore et la population humaine qui y sont exposés. (stewart, A.G., 2020 ; Haddaway, N.R., et al., 2019) Selon l'EPA (Environmental Protection Agency), 40% des points d'eaux de l'ouest des États-Unis sont contaminés par les mines. (Turrini, T, 2012) Les demandes de création de nouvelles mines sont vivement critiquées. Non seulement pour leur impact environnemental mais également économique. C'est le cas de la mine Pebble près de la région de Bristol. Ce projet était vivement critiqué car les opposants craignaient que son développement ait un impact négatif sur la production de saumons dans la Baie de Bristol, activité qui représente un revenu économique important dans la région. (Annexe 16) (Main, D., 2020) Une étude de l'USACE assurait que ce projet aurait peu d'impact sur l'environnement. Cependant, l'étude a été condamnée par d'autres scientifiques, des populations de natifs et des organisations environnementales qui trouvaient que l'étude était biaisée. (Cornwall, W., 2020) Dans un retournement de situation, l'USACE a décidé de ne pas permettre à ce projet de voir le jour car il cause un grand danger pour les systèmes aquatiques. (Braun, A., 2020 ; U.S. Army Public Affairs , 2020)

L'Alaska contient une grande quantité de gaz et pétrole, tant terrestres que marins. Ces champs sont principalement opérés par de grandes entreprises privées. (Annexe 17) Une petite minorité est opérée par des natifs. Au-delà de l'impact climatique des émissions de GES de l'extraction, le raffinement, le transport et l'utilisation des énergies fossiles, les infrastructures elles-mêmes ont un impact sur le dégel du permafrost. Un exemple fortement étudié est le champ pétrolifère de la baie de Prudhoe dans le nord de l'Alaska. Sans compter les impacts environnementaux directement liés à la construction de toutes les infrastructures utiles à l'extraction, ce lieu a de nombreux impacts. Par exemple, les routes qui ont dû être créées pour arriver jusqu'au champ empêchent un drainage correct et créent des inondations. La neige est enlevée des routes et mise sur les côtés, ce qui augmente la température du sol. Les véhicules ainsi que les dépôts de poussières perturbent la végétation et la couverture neigeuse, ce qui fait également augmenter la température du sol. (Raynolds, et al., 2014 in van Huissteden, J., 2020)

Le moyen principal de transport utilisé pour acheminer le pétrole est le Trans-Alaska Pipeline System. Cet oléoduc traverse l'Alaska afin de relier les champs pétrolifères du nord au port maritime de Valdez au sud. (Annexe 18) Le TAPS est en partie enterré et constamment refroidi afin que le permafrost qui l'entoure ne dégèle pas. Ce mécanisme consomme énormément d'énergie. L'autre moitié de l'oléoduc est surélevé grâce à des pylones dans les zones de permafrost. (Alaska public lands information centers, 2020). La surélévation a été mise en place afin d'éviter le dégel du permafrost dû à la chaleur émise par le TAPS mais également pour pouvoir laisser la faune sauvage passer plus facilement. (Ray, M., 2014) Depuis quelques années, la production de pétrole a fortement diminué ce

qui réduit la quantité transportée par le TAPS. Le futur de ce dernier est donc assez flou. Certains voient un avenir radieux pour le TAPS, tandis que d'autres sont bien moins optimistes. Un nouveau projet pour un gazoduc, cette fois-ci, est en pleine négociation. (Annexe 19) (Solomon, C., 2018)

Le transport au sein de ce 49^e État est compliqué car il y a très peu de routes qui le traversent. (Annexe 20) Seules un faible pourcentage des municipalités sont reliées au reste de l'État par des routes. L'aviation est donc le principal moyen de transport permettant d'atteindre les zones plus isolées. L'Alaska a ainsi une route aérienne bien desservie. (Alaska Public Land Information Centers, 2020) Le principal souci avec ce mode de transport est la quantité de GES rejetée chaque année. Plusieurs routes maritimes sont également utilisées. Cependant, elles ne sont praticables qu'à certains moments de l'année lorsque la CGM le permet. La baisse de la CGM et donc l'augmentation de passage dans les routes maritimes arctiques augmentent les risques d'introduction d'espèces envahissantes, mais également de marées noires qui pourraient polluer les eaux et les terres. (U.S. climate resilience toolkit ; 2016)

« *Le tourisme de la dernière chance* », c'est comme cela que sont désignés tous les voyages touristiques aux pôles. Avec la fonte de la glace de mer, les bateaux de croisières ont amplement la place pour transporter tous les curieux. Cette envie de faire partie des derniers à voir les continents de glace séduit de plus en plus de monde. (IPCC, 2019) Lors des dix années précédentes, il y a eu une augmentation de +43% du nombre de visiteurs en Alaska. 53% d'entre eux ont choisi la croisière comme mode de transport et 43% ont opté pour l'avion. (Annexe 21) (McDowell, 2020) Ce style de tourisme n'est pas sans conséquences. Malgré les bienfaits pour l'économie, le tourisme a un impact sur l'environnement. En plus des GES émis par le transport, il y a une augmentation de la production de déchets, des eaux usées, de la consommation d'eau, de l'utilisation du sol ainsi que de la probabilité d'importation d'agents contaminants. Tous ces effets vont modifier l'environnement et déranger les espèces natives, ce qui aura pour conséquence de rendre la destination moins attractive.

4.1.1.2. Impacts sur les infrastructures humaines

Les infrastructures en Alaska sont victimes de l'érosion et autres conséquences amenées par le dégel du permafrost, lui-même engendré par une augmentation du nombre d'infrastructures et la prospection d'hydrocarbures. Les dégâts occasionnés peuvent avoir un coût économique et social très élevé. Selon une étude de 2016, si l'évolution du climat suit le scénario RCP 8,5, le CC pourrait coûter jusqu'à \$5.5 milliards à l'Alaska pour la période de 2015 à 2099. Ce coût ne serait que de \$4.2 milliards selon le scénario RCP 4.5. (Melvin, A.L., et al., 2016 ; IPCC, 2019) L'Alaska débourserait environ \$11 millions par an dans la réparation des infrastructures, en ne comptant pas les réparations des aéroports, des voies ferroviaires et des bâtiments municipaux. (Connor, B., et Harper, J., 2013)

L'une des plus grandes mines de zinc du monde, la mine Red Dog (Annexe 17), a subi de plein fouet le dégel du permafrost. Afin de pouvoir gérer son stockage et son évacuation d'eau, Red Dog a dû dépenser près de 20 millions de dollars. (Herz, N., 2020) En effet les mines ne peuvent déverser leurs eaux usées dans les cours d'eaux avoisinants que si ceux-ci ont un nombre de minéraux et particules inférieurs à un certain seuil. Ces deux dernières années ont été très chaudes, ce qui a fait dégeler plus de permafrost et rejeté ainsi plus de minéraux et particules. Les eaux ont alors dépassé le seuil accepté, ce qui a empêché la mine de déverser ses eaux. Ils ont dû alors trouver des solutions. L'une d'entre elles était la construction d'un nouveau système de traitement des eaux. (Teck, 2020)

Le TAPS est vulnérable face au dégel du permafrost et ses conséquences. 75% de l'oléoduc passe sur des zones de permafrost. Une partie a été enterrée et une autre surélevée. (American Experience, 2020) Le dégel va faire déplacer et effondrer les sols, ce qui pourrait impacter la stabilité du TAPS. Des systèmes de refroidissement ont été mis en place afin de s'assurer que le permafrost autour du TAPS ne dégèle pas. Ces thermosiphons sont en partie enterrés dans le sol et sont remplis de gaz qui permettent de refroidir le sol. (Annexe 22) De plus en plus de thermosiphons sont mis en place, mais ils doivent régulièrement être réparés. Depuis 2001 l'Alyeska Pipeline Service Co., l'entreprise qui gère l'oléoduc, a dû réparer 14% de ses thermosiphons, soit environ 16.600. (Carlton, J., 2009) L'année dernière, les entreprises ont dû dépenser plus de 10 millions de dollars afin de réparer les dégâts suite à une inondation. (Herz, N., 2020)

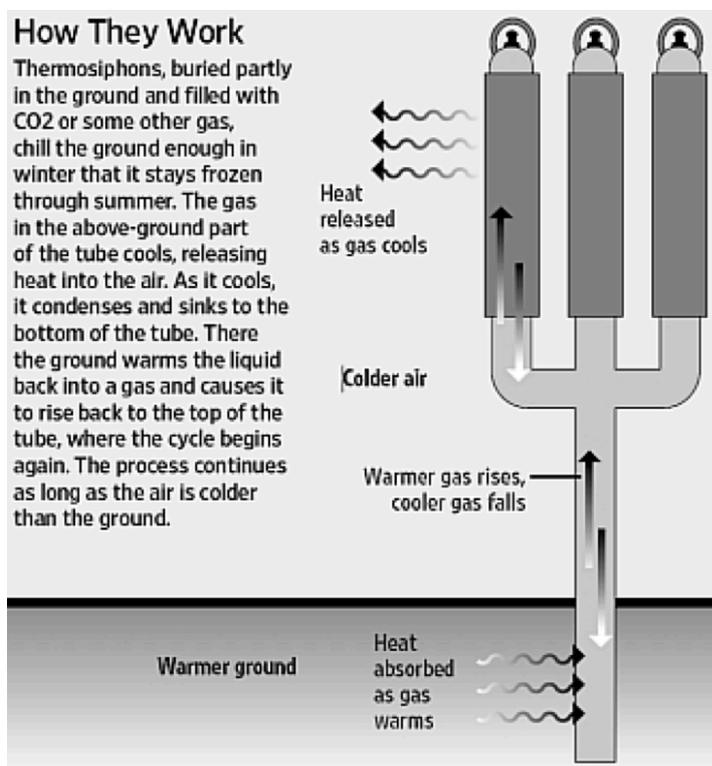


Fig. 4.1. Schéma Thermosiphons.

Schématisation du fonctionnement des thermosiphons placés autour du TAPS. Ce sont des tuyaux partiellement enfoncés dans le sol. Ils sont remplis d'un certain type de gaz. Lorsque le gaz (sous forme liquide) froid descend dans le tube, il est réchauffé par la température terrestre, il remonte (sous forme gazeuse) dans le tube et refroidit, et ainsi de suite. (Carlton, J., 2009)

Comme vu précédemment, l'Alaska a très peu de routes. Celles qui existent sont énormément utilisées pour le transport de matières premières d'un point à l'autre de l'État. Cependant, avec le dégel du permafrost qui est de plus en plus sévère, ces routes se déforment, se brisent et deviennent impraticables. L'Alaska Highway en est un bon exemple. Cette route relie les États-Unis à l'Alaska en passant par le Canada. Certains tronçons ne sont plus praticables car l'asphalte a subi des glissements de terrains et s'est déformé (Quinn, G., 2016)



Fig. 4.2. Alaska Highway Photo de Paul Murchison à l'intérieur d'une faille causée par le dégel du permafrost. (Courtesy Yukon Research Centre and College in Quinn, G., 2016)

Certains villages sont entièrement coupés du monde extérieur. C'est le cas du village Tununak qui a déboursé en 2016 près de \$19 millions pour un nouvel aéroport. Outre de traverser toute la toundra en voiture, l'aéroport était leur seul lien avec le reste de l'Alaska. Malheureusement, les compagnies aériennes ont décidé l'année suivante de ne plus y atterrir car les pistes d'atterrissages étaient devenues impraticables en raison de tous les nids de poules qui s'étaient formés. (Cotsirilos, T., 2017)

Les populations rurales côtières sont les plus touchées par le CC. Elles font face à une triple menace : la montée du niveau de la mer, la disparition de la CGM qui protège les côtes des orages et le dégel du permafrost avec toutes ses conséquences. (Bernton, H., 2019) Les bâtiments publics et les maisons s'effondrent, les frigos naturels sont inondés ou ne sont plus suffisamment froids, les routes ne sont plus praticables, les terres s'érodent, etc. Ces populations se voient dans certains cas obligées de se délocaliser. Un exemple est Shishmaref, une ville côtière qui a perdu des centaines de Km² de terre à cause de l'érosion des côtes. Cette érosion induite par les activités humaines et une augmentation de la population en Alaska va obliger la ville à se délocaliser. (Arthur, L., 2019)



Fig. 4.3. Shishmaref, Alaska. Village arctique subissant les conséquences du changement climatique (Annexe 23) (Sheppard, K., 2014)

Le choix de changer de lieu a cependant un impact financier. Selon une étude de 2004, une relocalisation coûterait environ \$180 millions. Rester coûterait en revanche \$110 millions selon les autorités. C'est un prix très élevé pour cette petite communauté de natifs rongée par la pauvreté. (Holpuch, A., 2016) Selon l'USACE, plus de 180 communautés côtières sont vulnérables face au dégel du permafrost mais surtout de l'érosion. Délocaliser tout ce monde coûterait environ \$23 milliards. (Connor, B., et Harper, J., 2013) Une nouvelle étude de 2019 réalisée par USACE, a conclu que 29 communautés sont hautement menacées par l'érosion. 38 d'entre elles sont hautement menacées par des inondations, 35 sont hautement menacées par le dégel du permafrost et au moins 19 sont hautement menacées par plusieurs risques. (USACE, 2019 in Earls, M., 2019)

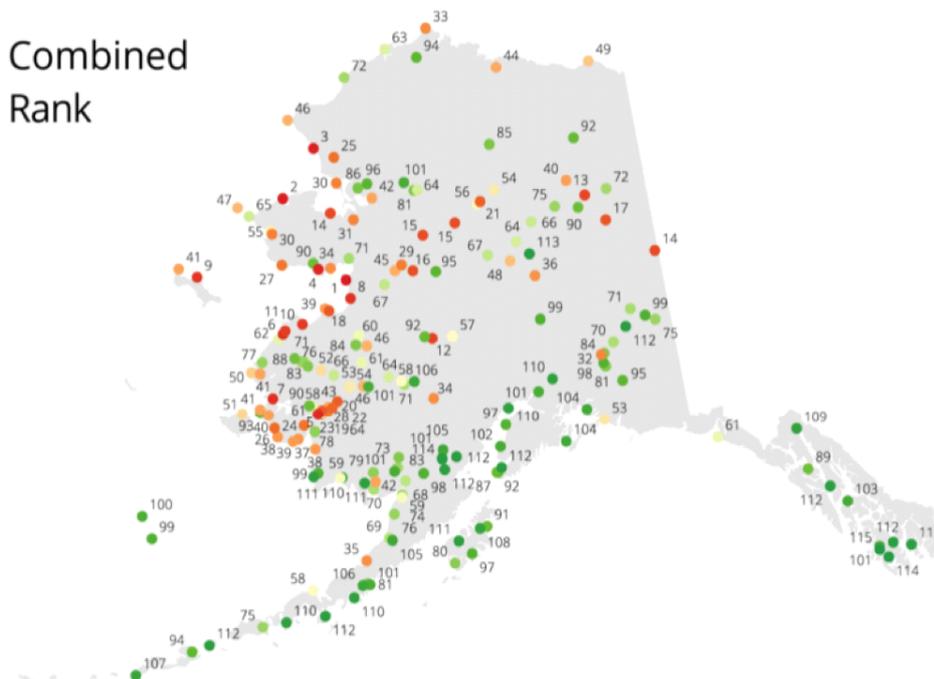


Fig. 4.4. Carte des risques. Représentation combinée des menaces et des risques (érosion, inondation et dégel du permafrost) par zone. Plus un point tire vers le rouge, plus la zone est vulnérable aux différents risques. (Annexe 24) (U.S. Army Corps of Engineers Alaska District, et al., 2019)

Ces habitants ne perdent pas seulement leurs habitations mais ils perdent également toutes leurs cultures. Avec la disparition de lieux et de pratiques sacrés, mais également la perte de leurs moyens de subsistance principale. Les espèces marines sont, pour la plupart, en plein déclin ou sont remplacées par d'autres animaux qui migrent et viennent prendre leurs places. (IPCC 2019) Cette perte culturelle est une tragédie pour ces communautés qui sont déjà peu nombreuses et peu représentées.

4.1.2. Sibérie

4.1.2.1. Impacts des infrastructures humaines

Le développement économique et humain de la Sibérie est en lien direct avec l'URSS. C'est à sa création qu'ont été découvertes les différentes réserves d'énergies fossiles et de minéraux. Le développement de la macro-région a ainsi été fulgurant. Un peu partout en Sibérie, des villes mono-industrielles se sont construites. Ces villes dépendent d'une industrie ou d'une usine, principalement extractive, pour pouvoir vivre. Mais, à la chute du régime, la macro-région s'est transformée suite à une désindustrialisation rapide. Une grande disparité économique s'est alors créée entre les grandes villes riches et les petites villes plus éloignées qui dépendaient des industries. Dans les années 2000, certaines villes mono-industrielles ont repris vie mais elles sont peu nombreuses. (Strambo, C., 2016) La Sibérie est, à l'heure actuelle, une macro-région très importante pour la Russie car elle contient plusieurs industries qui font prospérer la république. Les plus importantes sont les secteurs d'extraction gazière, pétrolière, minière ainsi que le secteur forestier. 15% des opérations de pétrole et 80% des opérations de gaz se trouvent sur du permafrost. (Bloomberg, 2019) Ces activités humaines impactent grandement leur environnement. La majorité d'entre elles ont lieu dans l'Arctique et se trouvent sur des zones de permafrost. Celui-ci est très fragile et dégèle de plus en plus intensivement. Le Kremlin désire développer plus intensément la Sibérie, ce qui va rajouter des pressions en plus de celles que subit déjà l'Arctique. La Russie débloque des milliards de roubles afin de donner des subsides pour la recherche et l'extraction minière mais également afin de développer la démographie et les différents modes de transports. (Пресс-служба Минприроды России (Service de presse du ministère des ressources naturelles et de l'environnement de Russie), 2020 ; Tracey, G., et., Wilson, J., 2019 ;)

L'extraction de métaux basiques et précieux ainsi que l'extraction du charbon et du diamant sont les principales activités minières en Sibérie et représentent une part importante de l'économie. (Harder, J., 2020) On retrouve en Sibérie un grand nombre de mines, notamment dans le bassin de Kouznetsk qui est le plus grand gisement de charbon. Les plus grandes mines d'or et de diamants du monde se trouvent également en Sibérie. (Annexe, 25) (Michaud, D., 2013) Ces mines sont principalement tenues par des entreprises privées. (Harder, J., 2020) L'extraction minière du pays représentait en 2016 86,8% des déchets totaux. (Мереминская, Е., 2020) Toutes les étapes de l'extraction minière polluent non seulement l'atmosphère mais également les sols qui les entourent, ce qui par la suite, impacte la

végétation, les animaux ainsi que la qualité de vie de l'Homme. (Davydova, N.D. et., Znamenskaya, T.I., 2016) Les hautes cheminées de la ville de Norilsk dégagent des tonnes d'oxyde de cuivre, de nickel et de dioxyde de soufre tout au long de l'année, rendant les pluies plus acides. Lorsqu'il pleut, toute cette acidité est absorbée par les sols et rivières qui se vident alors de toute vie. (Brunell. D., 2014 ; Kramer, A.E., 2016, 2020) Ces pluies acides dérèglent l'écosystème arctique et augmentent dès lors le dégel du permafrost.

Les mines de charbon créent également de la neige noire et toxique à cause du noir de carbone. Les toxines retrouvées dans la poudre de charbon peuvent déclencher toutes sortes de maladies respiratoires ainsi que le cancer du poumon ou des accidents vasculaires cérébraux. (Emerson, S., 2019 ; Ganesan, S., et, Sangeetha, R., 2019 ; NIOSH, 2011) Cette poudre contamine également les rivières et rend les terres infertiles. (Paramonova, N., 2015) Cela participe à une modification des écosystèmes arctiques et au dégel du permafrost. En plus de cette modification, le permafrost dégèle à cause de la neige noire. Celle-ci ayant un taux d'ablédo plus faible que la neige blanche, les sols se réchauffent et le permafrost dégèle. Dans la région minière de Kemerovo dans le sud de la Sibérie, plusieurs villes ont été recouvertes de neige noire. (Annexe 26) Cette région contient le bassin de Kuznetsk qui produit 40% du charbon de la Russie. La pollution y est deux fois supérieure à la moyenne. (Pigni, G., 2017) Anatoly Volkov, le directeur général de l'usine Prokopyevskaya, avait annoncé en 2019 qu'un bouclier qui empêche la poudre de charbon de s'échapper ne fonctionnait plus. Malgré tous les problèmes que ces usines de charbon représentent, le vice-gouverneur de la région de Kemerovo en charge de l'écologie, Andrei Panov, mentionnait qu'elles n'étaient pas les seules responsables et que d'autres infrastructures humaines étaient aussi à blâmer. (The Siberian Times, 2019)



Fig. 4.5. Oblast de Kemerovo. Photo d'une ville recouverte de noir de carbone. (The Siberian Times, 2019)

L'extraction du pétrole et du gaz sont également des sources économiques importantes en Sibérie. Elle est aussi très nocive pour leurs environnements, que ce soit atmosphérique, terrestre ou aquatique. Selon une étude de 2020, l'entreprise d'État d'extraction, de traitement et de transport du gaz et du pétrole, Gazprom est le troisième plus gros pollueur mondiale. (Heede, R., 2020) L'extraction et le transport du pétrole a également un impact sur les sols. En 2019, il y aurait eu 819 fuites de pétroles couvrant 93,6 hectares de terrain selon Rosprirodnadzor, le service fédéral de contrôle des ressources naturelles russes. Transneft, le plus grand opérateur des gazoducs et oléoducs a annoncé que les fuites étaient principalement liées au vol et non à des problèmes environnementaux malgré le dégel du permafrost qui a lieu en Sibérie et qui toucherait des milliers de Km de pipelines. (Griffin, R., 2020)

Un des principaux moyens de transport terrestre pour le pétrole et le gaz, ce sont les pipelines. Il y a plus de 150.000 Km de pipelines en Russie. Ceux-ci sont partiellement enfouis mais sont également en hauteur. La Russie est le pays ayant le plus de pipelines se trouvant sur des zones de permafrost. (Brouchkov, A., et al., 2018) Transneft est la plus grande société d'oléoducs au monde. Elle transporte plus de 83% des produits pétroliers grâce à 67.000 km de pipeline (Transneft, 2020) En 2019, GazProm a inauguré un nouveau gazoduc entre la Russie et la Chine. Ce projet, « Power of Sibérie gas pipeline » fait 3.000 km de long. Il permet ainsi d'approvisionner la Chine plus rapidement. (Annexe 27) La mise en place des pipelines impacte le permafrost. En effet, la chaleur émise par ce mode de transport fait augmenter la couche active, le nombre de thermokarst et la formation de taliks. Certains systèmes de refroidissement peuvent provoquer une augmentation du gel pour des pipelines sous-terrains. (Brouchkov, A., et al., 2018)

Le transport en Sibérie est très compliqué car la majorité du territoire n'est pas reliée par des voies de circulation. La voie aérienne est très onéreuse et n'est utilisée que pour atteindre certains endroits reculés de la Sibérie. Les routes et les rails de trains qui permettent d'atteindre tous les coins de la Sibérie sont peu nombreux mais restent les moyens de locomotion les plus utilisés pour le transport sur de courtes et moyennes distances. (Annexe 28) (Petrova, E., 2020) Certains territoires et installations industrielles éloignées dépendent, en hiver, des routes de glace pour transporter les biens. Ces routes glacées sont les rivières qui gèlent en hiver et qui permettent ainsi d'accéder à des lieux qui sont hors d'atteinte la majorité du temps. (Annexe 29) (SMHI, 2020) Le moyen de transport privilégié pour le transport de grosses cargaisons est la voie maritime. Le transport pratiqué sur la mer Arctique a plus que quadruplé depuis 2016. Cette route maritime est d'autant plus importante qu'il s'agit de la route la plus rapide reliant la Russie européenne et l'extrême Est de la Sibérie. (RT, 2018) Tous ces types de transports impactent énormément leur environnement car ils rejettent des GES et du noir de carbone, fragilisant les routes, risquant d'introduire de nouvelles espèces envahissantes et pouvant augmenter le nombre de marées noires. (McGee, R., 2018) Les transports par les voies terrestres polluent également les sols car les conducteurs abandonnent leurs déchets sur les routes et certains véhicules qui ont coulé

dans les routes glacées ne sont jamais repêchés. (Chapple, A., Grojec, W., 2020) Le Kremlin désire de plus en plus développer l'Arctique en passant notamment par une augmentation des infrastructures en construisant des routes, des rails de trains ou encore des aéroports. La Russie désire ainsi relier les différentes parties de son pays et créer des nouvelles routes commerciales avec d'autres pays tels que la Chine. (Tracey, G., et., Wilson, J., 2019 ; Tsyganov, V., 2019) Ce projet d'infrastructures aura un grand impact sur l'environnement sibérien, encore partiellement intact.

L'exploitation des forêts de la Sibérie et l'agriculture font partie de l'économie de cette macro-région. Ces industries ne sont pas aussi développées que les mines, mais elles ont un grand impact sur leur environnement. Au début du printemps, les exploitants agricoles mettent le feu afin de détruire toute végétation indésirable avant de pouvoir travailler la terre. En 2019, cette pratique associée à des températures élevées ont engendré la destruction d'une surface aussi grande que la Belgique qui est partie en fumée. (Cooke, K., 2020) Un autre danger est l'exploitation illégale des forêts pour répondre à la demande croissante, notamment de la Chine, vers qui les $\frac{3}{4}$ des exportations de bois sont acheminées. Selon l'agence forestière Russe, seulement 0,5-1% de cette exportation proviendrait d'une filière illégale. Selon des experts indépendants néanmoins, ce serait plutôt 20% de l'exportation qui serait illégale. (Soric, M., 2019 ; Sauer, N., 2019) L'exploitation de certaines forêts n'est pas problématiques car ce sont des forêts qui se renouvellent rapidement. La demande en bois rare est également en augmentation, ce qui risque de faire disparaître certaines espèces. Ces feux et l'exploitation des terres impactent l'environnement et le permafrost en libérant une grande quantité de carbone souterrains qui, ensuite, va faire augmenter la température et ainsi engendrer le dégel du permafrost. Ces zones de végétations sont également des puits de carbone. Si elles ne se régénèrent pas, plus de carbone sera libéré. (LCLUC, 2020) La disparition de certaines espèces au profit d'autres peuvent également impacter le permafrost. Dans certains cas, la flore peut absorber l'excédent d'eau dégelée. Dans d'autres, la couverture végétale qui augmente peut réchauffer les sols et aggraver le dégel du permafrost. (The university of Edinburgh, 2019 ; Wilcox E.J., et al. 2019)

4.1.2.2. Impacts sur les infrastructures humaines

La Sibérie est très importante dans le développement économique de la fédération de Russie. Cependant, le CC et toutes ses conséquences risquent de ralentir la croissance économique, l'augmentation de l'espérance de vie et de la démographie espérée par le gouvernement. (Cordell, J., 2020) Selon la chambre des comptes, 56 millions d'habitants répartis dans 143 villes respirent de l'air pollué, la presque totalité des rivières sont polluées par des eaux non traitées. Chaque année 300,000 hectares de forêts sont perdus. Tout ceci a évidemment un impact sur l'environnement et d'ici 2030, cela pourrait représenter un coût semblable à 2-3% du PIB et 5-6% du PIB pour les zones les plus touchées. (Мереминская, Е., 2020 in Cordell, J., 2020) Selon une étude de 2019, sous le scénario RCP 8.5, 1/5 des infrastructures et bâtiments pourraient être touchés d'ici 2050. Le coût de l'atténuation des

dommages causés par le dégel du permafrost pourrait s'élever à plus de \$100 milliards. (Troianovski, A., Mooney, C., 2010 ; Streletskiy, D.A., et al., 2019)

Les mines ne sont pas épargnées par les conséquences du dégel du permafrost. Les centrales sont pour la plupart anciennes et se trouvent sur des zones propices au dégel. Leurs infrastructures n'ont pas été construites pour résister aux futurs dangers climatiques. Les sols peuvent s'affaisser, se déplacer et s'inonder, ce qui endommagerait voire détruirait des infrastructures complètes. Le possible assèchement de certaines parties de l'Arctique pourrait également mettre les entreprises minières et les populations locales en compétition pour l'accès à l'eau. (Nelson, J., et. Schuchard, R., 2015) Les entreprises sont également occupées à développer de plus en plus de mines, ce qui les met en danger face aux changements climatiques.

Les nouvelles infrastructures pour l'extraction du pétrole et du gaz se trouvent dans des zones de permafrost continu. En revanche, les plus anciennes, qui sont les piliers de cette industrie, se trouvent sur du permafrost discontinu, ce qui est évidemment problématique car ce sont les zones les plus fragiles face au dégel. Les infrastructures qui y ont été placées ne sont pas toutes adaptées à un dégel plus ou moins brutal. En effet, les industries se trouvant sur du permafrost discontinu utilisent des infrastructures vieilles et non adaptées aux futurs risques auxquelles elles seront confrontées. En effet, elles ont été construites lorsque les problèmes climatiques n'étaient pas encore d'actualité. (Lee, J., 2020) 45% des champs de production de pétrole et de gaz se situent dans des zones où le permafrost deviendra vulnérable au dégel en 2050. (Hjort, J. et al., 2018 ; IPCC, 2019)

Le gaz et pétrole sont acheminés via des milliers de kilomètres de canalisations. La majorité de celles-ci ont été créées dans les années 1970-1980 et traversent des zones de permafrost. Son dégel aura un impact important sur le transport de cette marchandise. (Lee, J., 2020) Le dégel de la couche active affaiblit les fondations et rend les structures placées en hauteur plus fragiles en raison de l'affaissement des sols. (Griffin, R., 2020) Inversement, dans certaines zones, se produit un soulèvement dû au gel. Il s'agit d'un mouvement vers le haut ou vers l'extérieur provoqué par la formation de glace dans le sol. (Hamakareem, M.I., 2020) Si ce décalage du niveau du sol est très prononcé ou rapproché, les pipelines se déforment jusqu'à ce qu'ils se brisent. (Sobczak, B., 2013) Les gazoducs souterrains risquent d'exploser car le méthane terrestre entourant les tuyaux est libéré. Les pipelines sont aussi à risque lorsqu'ils se trouvent près de zones qui sont victimes de l'érosion. (The Siberian Times reporter, 2017 ; Gray, R., 2020) Chaque année dans l'ouest de la Sibérie, \$1,8 milliards (55 milliards de roubles) est déboursé pour réparer les pipelines victimes du dégel du permafrost. (Sobczak, B., 2013)

Les marées noires sont un phénomène courant en Russie. Lors de l'été 2020, plus de 21.000 tonnes de diesel se sont répandues près de la ville de Norilsk après l'affaissement d'une plateforme de béton et

l'effondrement d'un réservoir de carburant d'une centrale électrique. Selon les premières recherches, le principal responsable serait le dégel du permafrost. Il s'agit d'un des événements écologiques les plus importants de la Russie arctique. (Schreiber, M., 2020) Cette cuve appartenait à Nornickel, une société minière qui est la plus grande productrice de nickel et palladium dans le monde. (Nornickel, 2020) Cette fuite s'est tout d'abord répandue sur 180.000 m² de terres avant de se déverser dans la rivière Ambarnaya, jusqu'à 20km du lieu de l'accident, et l'a fait changer de couleur. (TASS, 2020 ; BBC, 2020) Ce désastre a des conséquences lourdes pour toute la faune et la flore qui l'entourent, mais également sur la santé Humaine. En effet, les indigènes dépendent de leurs environnements pour survivre. (Greenpeace, 2020) Selon la vice-ministre russe des ressources nationales et de l'environnement, il faudra au moins 10 ans pour que l'environnement puisse se rétablir. (Nechepurenko, I., 2020 ; Полякова, В, 2020) Ce qui a fait énormément réagir, outre le désastre écologique, est que l'État n'a été mis au courant que deux jours après le début de la fuite. Nornickel, l'entreprise à qui appartient ce réservoir, aurait tenté de contenir cette catastrophe pendant deux jours avant d'alerter les autorités selon Yevgeny Zinichev, ministre des crises. Quant au gouverneur de la région, Alexander Uss, il a pris connaissance de l'affaire par le biais des réseaux sociaux. Après avoir été informés, les gouvernements ont déclaré l'état d'urgence et ont ordonné la mise en place de dispositifs de nettoyage des pollutions (Annexe 30) (BBC, 2020) Rosprirodnadzor (Росприроднадзор), Le Service fédéral de contrôle de l'utilisation des ressources naturelles a envoyé une demande d'indemnisation volontaire à la société Nornickel de près de \$2,1 milliards (148 milliards de roubles) pour ce désastre. (Росприроднадзор, 2020) Trois investigations ont été lancées et le directeur de la centrale a été mis en détention. (BBC, 2020) Vladimir Poutine a annoncé que l'entreprise devra payer à elle seule les dégâts et devra œuvrer à un retour à la normale de l'écosystème. (Antonova, M., 2020)



Fig. 4.6. Fuite de pétrole. Photos des travailleurs tentant de contenir la fuite. (BBC, 2020)

Le dégel du permafrost et l'augmentation des températures ont des conséquences mitigées sur l'industrie forestière et agricole. Ainsi, la végétation va augmenter surtout au Nord de la Sibérie où la limite forestière va monter vers l'Arctique. Les industries vont pouvoir accéder à de plus grandes étendues. Malheureusement, il y aura une augmentation du nombre de feux et de leurs intensités. Les conséquences pour l'Homme et ses industries pourraient être dramatiques. (IPCC, 2019 ; Foltynova, K., 2020)

En Sibérie, une multitude de villes ont été érigées sur des zones de permafrost. Le CC impacte le dégel du permafrost mais l'augmentation de la population ainsi que l'augmentation des canalisations, des eaux usées et des déchets jouent un rôle dans cette transformation des sols. Une partie des habitations ont été construites sur pilotis, avec des pieux enfoncés profondément dans le sol gelé. Cette technique devait éviter un contact direct entre les maisons chauffées et le sol gelé. Malheureusement avec le dégel du permafrost, les bâtiments deviennent de plus en plus instables. En 70 ans, la capacité portante des pieux enfoncés dans le sol a diminué de 37 % en Sibérie occidentale, de 26 % en Sibérie centrale et de 48 % en Sibérie orientale. D'ici 2050, cette capacité portante pourrait diminuer jusqu'à $67\pm 28\%$, ce qui réduirait de 25% la stabilité des infrastructures. (Dobricic, S. Pozzoli, L., 2019) Les bâtiments s'effondrent, les tuyaux qui servent aux transports d'énergie dans les villes se tordent, les frigos naturels creusés dans le sol s'écroulent et ne sont plus aussi efficaces. (Annexe 31) (Luhn, A., 2016 ; Troianovski, A., Mooney, C., 2019 ; MacFarquhar, N., 2019) Dans la ville de Yakutsk, environ 1.000 habitations sont à risques. (Eckel, M., 2020) Dans la ville minière de Norilsk, 60% des infrastructures ont été touchées par le dégel du permafrost. (Luhn, A., 2016)



Fig. 4.7. Des bureaux abandonnés à Norilsk depuis 2009 suite à des fissures. (Lhun, A., 2016)

Avec l'augmentation des températures, les routes de glaces fondent de plus en plus tôt dans l'année et gèlent de plus en plus tard. En 2020, le dégel a débuté 12 jours plus tôt qu'en temps normal. En Hiver, les routes de glaces se fragilisent. Chaque année, des transporteurs perdent une partie de leurs chargements ou leurs véhicules, certains perdent des membres en attendant les secours et dans le pire des cas, ils perdent la vie en attendant ou en passant à travers des routes de glaces fragilisées. (Annexe

29) (Chapple, A., Grojec, W., 2020 ; FSTAMMLE, 2020, Staalesen, A., 2020) En été, lorsque ces routes sont, pour la plupart, navigables, il y a une accumulation d'eau en raison du dégel du permafrost, engendrant une augmentation des crues. (Troianovski, A., Mooney, C., 2019 ; Macfarquhar, N., 2019) Les routes de bétons ainsi que les rails de trains quant à eux se fragilisent, se fissurent et deviennent dans certains cas impraticables. (Chapple, A., Grojec, W., 2020 ; Copernicus, 2019) Les villes et les installations industrielles ne peuvent plus importer et exporter des marchandises et se retrouvent coupées du reste du monde. Dans certains cas, des villages sont inondés pendant des semaines.



Fig. 4.8. Camion coincé sur la route de glace dans la république de Sakha (Chapple, A., Grojec, W. 2020)

4.2. Réponses

Tel que développé précédemment, l'Homme est le principal responsable du CC en Arctique et plus précisément de dégel du permafrost. Il est responsable au niveau global car les émissions rejetées aux quatre coins de la terre ont un impact sur les écosystèmes arctiques. L'Homme a également un grand impact au niveau local. L'augmentation de la population, du tourisme, de la surpêche, du transport, de la mondialisation sont des causes de ce changement. Cependant, l'impact principal que l'Homme a sur les pôles est cette envie démesurée de vouloir creuser de plus en plus profondément et sur une plus grande superficie afin d'avoir accès aux énergies fossiles qui se sont accumulées depuis des siècles dans les pôles. L'Homme a construit de nombreuses infrastructures pour pouvoir vivre et travailler à proximité des pôles mais aujourd'hui, ces constructions se retournent contre eux. Les bâtiments s'effondrent, les routes deviennent impraticables et les mines et autres infrastructures pour les hydrocarbures se brisent ou sont inondées. L'Homme doit faire un choix s'il veut pouvoir continuer à vivre dans l'Arctique.

4.2.1. Alaska

4.2.1.1. Politique

La politique climatique aux États-Unis a été totalement bouleversée avec l'arrivée de Donald Trump à la présidence. Si certains éléments juridiques avaient été mis en place par Barack Obama, tels que la

signature de l'accord de Paris et l'interdiction de faire de la prospection dans certaines réserves naturelles, etc, Donald Trump a entièrement retourné cette situation en sortant de l'accord de Paris ou en tentant de rendre accessibles certaines régions jusqu'alors protégées. Depuis 2001, il était interdit de construire, reconstruire des routes ainsi que de récolter du bois au sein de la forêt nationale de Tongrass. Cette forêt pluviale tempérée couvre plus de 80% du sud-est de l'Alaska. Mais depuis le 28 octobre 2020, cette règle n'est plus d'application pour 1% de la surface de cette forêt. (U.S. Department of Agricultur, 2020 ; Stone, E., 2020) Un autre exemple de changement est l'autorisation de l'exploitation pétrolière et gazière d'une partie du Refuge Faunique National Arctique. Depuis des décennies, ce refuge était protégé et il était interdit d'y exploiter ou d'y prospecter. En 2020 en revanche, l'Administration Trump a autorisé cette exploitation. (Plumer, B. et Fauntain, H., 2020) La vente de baux est attendue pour début janvier 2021, avant l'investiture du président élu Joe Biden. (Fountain, H., 2020 ; BLM, 2020)

Si l'extraction et la combustion de pétrole et de gaz devaient avoir lieu dans le refuge, cela pourrait rejeter en 70 ans, 4.3 milliards de tonnes d'équivalents de dioxyde de carbone. (Richards, R, 2019) Ces nouvelles autorisations ne sont pas pour autant définitives car Joe Biden est véhément opposé aux projets du président Trump sur la question environnementale. (Biden-Harris, 2020). Cependant, en ce qui concerne les baux, si la vente devait être réalisée et approuvée avant l'investiture, l'administration Biden aurait plus de difficultés à défaire cette vente. (Founain, H., 2020) L'inconnu reste de savoir si des entreprises vont acheter ces baux car s'en suivraient de nombreuses batailles juridiques. (NRDC, 2020 ; Mullaney, T., 2020)



Fig. 4.9. Carte représentant le Refuge Faunique National Arctique. La zone orange foncée représente la zone qui devrait être mise aux enchères (Eilperin, J. 2020)

En Alaska, la politique est dominée par le parti républicain qui soutien principalement le secteur des énergies fossiles et moins le futur climatique de l'État. Le gouverneur depuis 2018, Mike Dunleavy, a rapidement fait connaître sa position vis à vis des impacts environnementaux des secteurs économiques

de l'Alaska. En effet, peu après son investiture, le gouverneur a démantelé le groupe de travail sur l'environnement instauré par son prédécesseur. (Herz, N., 2019) Ce groupe composé de 20 personnes d'horizons différents avaient comme mission de conseiller le gouverneur sur les questions environnementales et de proposer des mesures pour faire face aux défis actuels et futurs. (Walker, B., 2017) Le gouverneur a également réduit de \$130 millions soit 41%, le financement des Universités de l'Alaska pour l'année 2020. Ces décisions sont dramatiques car elles ont un impact sur la qualité de l'enseignement et de la recherche car ces universités abritent certains des plus grands spécialistes arctiques. Cela impactera également les universités rurales composées principalement de minorités ethniques. Avec ce coût budgétaire, il est question de justice climatique et sociale. (Baker, M., 2019 ; Mudde, C., 2019) Le département de la conservation environnementale de l'Alaska est également occupé à revoir les réglementations et les lois relatives aux plans d'urgences en cas de marée noire afin de les alléger car elles seraient considérées comme un fardeau. (Bohrer, B., 2019)

Cependant, certaines villes et villages mettent l'accent sur la transition énergétique et sur la réduction de l'impact environnemental. C'est le cas de la municipalité d'Anchorage, la ville la plus peuplée, située au sud de l'Alaska. Sous la direction de Ethan Berkowitz, maire jusqu'en octobre 2020, la ville a élaboré un plan d'action climatique. Anchorage vise à réduire d'ici 2050 80% de ses émissions de carbone. (Montlake, S., 2019) La ville de Homer a créé un plan climatique adopté en 2007. Cette ville côtière dépend économiquement de la pêche et du tourisme. C'est pour cela qu'un groupe de travail a été formé afin de soutenir le conseil municipal en le guidant dans la gestion et l'efficacité énergétique. Il recommande également des mesures concernant les transports publics, la réduction des déchets, l'utilisation des sols et des émissions de gaz à effet de serre. Cependant, 10 ans plus tard, la ville a encore beaucoup de travail à entreprendre. (AAAS, 2020 ; City of Homer, 2007)

4.2.1.2. Économie

L'économie du 49^e État des États-Unis est très divisée face aux CC. Les entreprises tentent de diminuer leurs émissions de carbone mais la prospection et le forage des énergies fossiles est toujours d'actualité. En effet, certaines de ces entreprises voient un futur prometteur pour ces énergies. Depuis 2014, l'Oil & Gas Climate Initiative a été créée. Cette organisation internationale est composée de 12 entreprises membres de l'industrie du pétrole et du gaz. Ces entreprises sont BP, Chevron, CNPC, Eni, Equinor, ExxonMobil, Occidental, Petrobras, Repsol, Saudi Aramco, Shell et Total. Ensemble, elles produisent 30% de la quantité globale de pétrole et de gaz. L'OGCI a pour but d'accélérer la réponse de cette industrie face au CC en réduisant notamment leur bilan carbone via l'investissement dans la décarbonisation de l'industrie et le secteur du pétrole et du gaz, ainsi que du transport commercial. (OGCI, 2020)

Certaines sociétés visent à être neutres en carbone. C'est le cas de l'entreprise Teck, qui gère notamment la mine Red Dog. Elle s'est engagée à devenir neutre en carbone d'ici 2050. (Herz, N., 2020 ;

Teck, 2020) Des banques telles que Goldman Sachs et JPMorgan Chase ont décidé de ne plus financer directement le forage de pétrole et de gaz dans l'Arctique en raison de la controverse du potentiel forage dans le Refuge Faunique National Arctique. (Plumer, B. et Fautain, H., 2020)

L'augmentation de la prospection pour les énergies fossiles et des projets autour de ces énergies est cependant toujours présente. Les membres de l'OGCI par exemple ne renoncent pas aux énergies fossiles et continuent de faire des recherches pour de nouvelles zones à forer. (OCGI, 2020) Plusieurs mines de minerais sont également en pleine procédure de prospections. (Annexe 16)

4.2.1.3. Social

La population et plus particulièrement la population côtière est la plus fragile face au dégel du permafrost, étant directement impactées par ce changement. Pour contrer le CC et se préparer au futur, elles se mobilisent en nombre. Certaines dépensent des fortunes pour parvenir à sauver leurs habitations. Kivalina, un village de natifs qui a déménagé une première fois dans les années 2000 voit son nouveau lieu être en zone à haut risque après plusieurs tentatives infructueuses d'instaurer des mesures de protection des plages. Cette communauté a attiré l'attention de l'ancien sénateur Ted Stevens, qui a parrainé une législature pour autoriser des projets de lutte contre l'érosion. En 2010, un revêtement de roche a été mis en place. Cette structure laisse plus de temps à la communauté pour se relocaliser. Cette dernière est actuellement occupée à chercher du soutien localement mais également internationalement via une ONG, afin de se relocaliser plus doucement. (U.S. Climate Resilience Toolkit, 2017) Plusieurs de ces tribus et communautés s'associent avec des scientifiques et des organisations fédérales et étatiques afin d'effectuer des recherches. De plus, cette coalition tente d'observer leur environnement pour aider ces scientifiques à mieux comprendre les causes et conséquences du CC. Cela bénéficiera à tout le monde et grâce à une meilleure compréhension d'une problématique, il est plus simple d'y faire face. (U.S. Climate Resilience Toolkit, 2020 ; Herman-Mercer, N.M., Schuster, P.F., 2014)

4.2.2. Sibérie

4.2.2.1. Politique

Malgré la signature en 2018 de l'Accord de Paris, la politique climatique de la Russie est très mauvaise. Selon le Climate Change Performance Index 2021, la Russie est classée 52^e sur 61 pays. (Burck, J., et al., 2020) Les problèmes climatiques ne sont pas pris en compte dans les projets nationaux pour stimuler la croissance économique et les projets d'infrastructure qui sont mis en place. \$400 milliards sont consacrés aux dépenses d'infrastructure, aux soins de santé, au niveau de vie, à l'éducation, à l'innovation et à la culture. La priorisation de ces secteurs et surtout des infrastructures peuvent aggraver les problèmes climatiques de la fédération (Cordell, J., 2020)) Les plans d'adaptation et de réduction des GES ainsi que les objectifs russes d'énergie renouvelable sont considérés comme bien trop peu ambitieux pour empêcher l'augmentation de 2°C par rapport à l'ère préindustrielle. (The Moscow Times, 2019 ; Climate action tracker. 2020) En effet, le dernier plan climatique à long terme

proposé par le ministère du développement économique se projette jusqu'en 2050. Il s'agit d'une stratégie de développement à faible émission de GES. (Министерство экономического развития, 2020) Ce plan climatique développe plusieurs scénarii. Le scénario de base ne prévoit pas de nouvelles mesures climatiques jusqu'en 2028 et sera suivi jusqu'en 2050 de politiques plus agressives. Dans tous les scénarii, les émissions en 2050 seront plus élevées qu'elles ne le sont aujourd'hui. (Ross, K., 2020)

Un autre aspect qui empêche la Russie d'avoir une politique climatique importante est le lien fort qui existe entre la politique et l'économie. En 1990, avec la fin de l'URSS, il y a eu une libéralisation de l'économie et des entreprises mais 10 ans plus tard, une ré-étatisation des industries a eu lieu. (Becker, U., Vasileva, A., 2017) La Sibérie étant très dépendante des énergies fossiles, la politique leur est donc favorable. En 2019, un projet de loi sur la régulation étatique des émissions de gaz à effet de serre a été abandonné suite à une consultation du ministère de l'énergie, du ministère de l'industrie et du commerce et le Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs (Union Russe des Industriels et des Entrepreneurs). Un audit de cinq ans a été mis en place afin de mesurer la quantité d'émissions des entreprises mais aucun quota n'a été instauré. Toute mise en place de dispositions en vue de lutter contre le réchauffement climatique doit être faite sur base volontaire. (Бутрин, Д., et., Шаповалов, А., 2019 ; The Moscow Times, 2019) Certaines des entreprises les plus polluantes comme Gazprom appartiennent ou sont sous contrôle de l'État. (Gazprom, 2020) Les hommes d'affaires sont également très proches des hommes politiques, créant alors des conflits d'intérêt. La corruption serait très courante en Russie. Selon le classement CPI (Corruption Perceptions Index) de l'agence Transparency, la Russie était classée en 2019, 137 sur 180 pays. (Transparency International, 2020) En 2019, le tribunal régional d'Irkoutsk a condamné le ministre régional des forêts, Serguey Sheverda, à une peine de prison pour avoir facilité l'exploitation illégale de bois dans la réserve naturelle de Tukolon. (Sauer, N., 2019)

4.2.2.2. Économie

L'économie Russe et Sibérienne est basée sur l'extraction de matières premières. Comme exprimé précédemment, les liens entre l'économie et la politique sont très proches. Le groupe RSPP, considéré comme un lobby, a ainsi fait abandonner une loi qui visait à développer le système de pollueur-payeur. (Gershkovich, E., 2019) Par la volonté de l'État de développer l'Arctique, les entreprises privées et étatiques s'implantent de plus en plus en Sibérie. (Digges, C., 2018) Certaines populations se sentent obligées de déménager afin de laisser la place aux entreprises d'extraction. C'est le cas de la ville de Kazas, qui s'est vidée de ses habitants en 2012 au profit de l'entreprise de charbon Yuzhnaya. Selon la version officielle, la vente des terrains était volontaire. Cependant une partie de l'ancienne population de Kazas s'est sentie poussée vers la sortie et harcelée par les représentants de Yuzhnaya. (Pigni, G., 2017)

Rosneft, une entreprise étatique d'extraction, transformation et distribution de pétrole, a développé un programme environnemental jusqu'en 2025 afin de réduire son impact environnemental. Pour ce faire, elle se base sur quatre domaines d'actions : la gestion des terrains et des déchets actuels, la

restauration des dégâts environnementaux, la réduction des émissions et la gestion des eaux. (Rosneft, 2020) D'autres entreprises, telle Novatek, misent sur les nouvelles technologies pour réduire leurs impacts environnementaux. Selon le CEO et actionnaire majoritaire, Leonid Mikhelson, l'entreprise est occupée à concevoir de nouvelles infrastructures adaptées aux futurs impacts. Elle enfonce les pieux de soutien plus profondément et utilise une technologie pour garder le sol gelé. Via des plateformes gravitaires, l'entreprise cherche à maintenir les conduites de gaz naturels liquéfié loin du permafrost. (Bloomberg, 2019) Gazprom a également instauré de nouvelles installations en 2019 afin de réduire son impact. Ainsi en 2019 l'entreprise a réduit de 31 tonnes d'émissions par rapport à 2018 (Gazprom, 2020)

La banque centrale Russe a rejoint en 2019 le NGFS (Network for Greening in the Financial System). (Bank of Russia, 2019) Ce réseau est composé de 83 membres et 13 observateurs. Tous sont des autorités de contrôle ou banque centrale qui se sont engagées volontairement, suite à l'accord de Paris, à soutenir la transition écologique afin d'atteindre les objectifs fixés par ce dernier. Pour se faire, l'NGFS définit et promeut les meilleures pratiques d'investissement pour le développement durable. Il mène et commande également des recherches sur le financement vert. (NGFS, 2020) En 2020, la banque centrale Russe a défini sept principes pour un investissement responsable. Ce sont uniquement des recommandations consultatives afin d'aider les investisseurs institutionnels à protéger et améliorer la rentabilité et la fiabilité des investissements. (Shvetsov, S., 2020 ; Bank of Russia, 2020)

4.2.2.3. Social

Les populations locales sont divisées sur le sujet de l'environnement. Elles sont en même temps les principaux opposants pour certains projets économiques et en même temps elles défendent les entreprises d'énergie fossiles car il s'agit, pour certaines zones, des seules industries économiques. Les populations locales sont les premières victimes des différentes conséquences du CC. À Kuzbass, l'espérance de vie est de trois à quatre ans de moins que la moyenne nationale. Les activistes environnementaux dénoncent le peu de sanctions émises à l'encontre d'entreprises polluantes. Si sanction il y a, l'amende quant à elle est souvent peu onéreuse, ce qui n'incite pas les entreprises aux changements. Certains déplorent également que si les populations sont aussi impuissantes face aux entreprises qui violent la loi, c'est parce qu'elles ne sont pas au courant de leurs droits civils. (Pigni, G., 2017) Les populations qui s'opposent à certains projets économiques sont criminalisées et ne se sentent plus en sécurité chez elles. (Hope, M., 2018 ; ENVJUST PROJECT ICTA-UAB, 2020) Cela pose de nombreux problèmes au niveau de la liberté d'expression. Certains sibériens ont décidé de combattre la dégradation des écosystèmes arctiques par eux-mêmes. C'est le cas de Lyubov Alikina, qui patrouille au sein des forêts afin de vérifier que les forestiers travaillent dans la légalité. (Sauer, N., 2019)

5. TABLEAU COMPARATIF

+ = augmentation/ plus

- = diminution/ moins

/ = Pas d'informations

T = territoire

● = d'Ici 2030

● = d'Ici 2050

● = d'Ici 2100

		Alaska	Sibérie
Information général	Pays	États-Unis	Russie
	Superficie	1.723.337 km ²	13.100.000 km ²
	Population au m ²	0,42/ km ²	2,82/ km ²
	Économie	Industrie minière Pétrole Gaz Tourisme	Industrie minière Pétrole Gaz Foresterie
	Permafrost sur le territoire	80% (= 1.378.670 km ²)	65% de la Russie (= 11.099.010 km ²)

		Actuelle	future	Actuelle	future
Impacts Atmosphérique	Température TAS	+ 2°C	● + 4°C à + 6°C Nord ● + 3°C à + 4°C Sud	+ 1°C	● +1,5°C à + 7°C
	Couverture nuageuse	+ En été	/	+ En haute altitude - En basse altitude	/
	Précipitations	+ Des pluies	● + 10%	/	/

Impacts Cryosphère	Température permafrost	+ 1,2°C à + 3,2°C	● Permafrost disparu sur 57% du T	+ 0,90°C à + 095°C	Limite permafrost discontinu monte vers le nord
	Épaisseur couche active	+ 13 cm à + 23 cm		+ 17 cm à + 58 cm	
	Permafrost sous-marin	/	/	Contiendrait 1400 Pg de CH ₄	● 50 pg de CH ₄ rejeté Dégèle pas avant la fin du millénaire.
	Couverture Neigeuse	-10% de jour avec neige + neige foncée	● - 30% à - 40% couverture nivale	- de la durée + de l'épaisseur à l'Ouest - de l'épaisseur Extrême-Orient	● - 10% de durée ● + 15% à 50% d'épaisseur
Impacts Terrestre	Érosion	-1,4m à -20m de côte + Des éboulements en montagne	/	- 20m à - 30m + De zone de Yedoma touchée	/
	Feux	+ 50% de feux de plus d'1 acre Brûlent 1,3% du T	● + 2x de la fréquence ● + 3x de la fréquence	18.591 feux + Feux zombies	Augmentation
	Flore	+ Végétation au versant Nord - Végétation au Sud-Ouest	Modification des espèces	+ Végétation partout - Végétation Nord-Ouest - 70% des tourbes	+ Végétation de feuillus Modification des espèces
	Faune	- D'espèces	- De petits animaux - D'espèces utilisées par l'Homme + de certaines espèces	- 20% de bétails + 20% d'oiseaux	+ Dépendant des scénarii
	Rejet carbone	N'est plus un puits de carbone + Rejet carbone thermokarst +Rejet à cause des feux	+ De la rétroaction permafrost-carbone	+ Fuites permafrost sous-marin + Cryovolcan + Rejet carbone thermokarst + Rejet à cause des feux	● + 50 Pg de méthane sous-marin
	Température mer/ océan	+ 1°C à +7°C	+ Dépendant des scénarii	+ 8°C au-dessus de la mer	+ Dépendant des scénarii

Impacts Hydrosphère	Niveau de la mer	+ Depuis 50 ans + Des tsunamis	+ 3,8cm (si disparition des glaciers) + Des tsunamis	+ 0,185 cm/ an	/
	CGM	3 à 4 mois sans glace autour du T	<ul style="list-style-type: none"> ● Disparition ● Disparition 	- Drastique en 2020 - 3,3cm de banquise côtière 112 jours sans glace	<ul style="list-style-type: none"> ● Disparition ● disparition + De polynies - De polynies
	Lacs thermokarstiques	+ Du nombre - Superficie	+ du nombre	- 6% de superficie	+ Du nombre
	Virus	/	/	+De virus géants découverts	+ De virus découverts

Impacts des activités humaines	Mines	+ Métaux lourds naturels libérés + Solvants chimiques toxiques + Pollutions des eaux + Pollutions atmosphérique + Rejet GES	+ Noir de carbone/ GES + Neige noire + Réchauffement de la couche neigeuse + Pollutions atmosphérique + Pollutions des eaux + Pollutions terrestres + Pluies acides - Fertilité des sols/ eaux - Qualité de vie pour la végétation/ animaux/ Homme
	Pétrole/ gaz	+ Rejet GES - Drainage des eaux + Inondations + Température du sol + Dépôts poussières + Perturbation de la flore + Perturbation de la couverture neigeuse	+ Fuites de pétrole + GES + Pollution terrestre + Pollution aquatique + Pollution atmosphérique
	Pipelines	+ Température du sol + Consommation énergétique	+ Température des sols + Couche active + Nombre de thermokarst/ taliks + Gel

	Transport	<ul style="list-style-type: none"> + GES + Marées noires + Introduction espèces envahissantes 	<ul style="list-style-type: none"> + GES + Marées noires + Introduction espèces envahissantes + Déchets de carrosserie + Réchauffement du sol + Noir de carbone - Stabilité des routes
	Tourisme	<ul style="list-style-type: none"> + Consommation d'eau + Production de déchets/ eaux usées - Attrait environnementaux + GES 	/
	Foresterie/ agriculture	<ul style="list-style-type: none"> + feux de forêts + GES 	<ul style="list-style-type: none"> + Transport bois illégal - Espèces végétales rares + Feux de forêts + GES + Réchauffement des sols
Impact sur les activités	Mines	<ul style="list-style-type: none"> - Déversement des eaux + Investissements nouvelles infrastructures 	<ul style="list-style-type: none"> + Nouvelles infrastructures - Stabilité des sols + Inondations + Déplacement des sols - Accès à l'eau
	Pétrole/ gaz	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilité des sols 	<ul style="list-style-type: none"> • 45% de champs de pétrole et gaz vulnérables + Nouvelles infrastructures + Marées noires
	Pipelines	<ul style="list-style-type: none"> + Thermosiphons + Réparations infrastructures + Effondrement des sols - Stabilité des infrastructures 	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilité fondations + Affaissement des sols + Soulèvement dû au gel + Explosions de méthane terrestre
	Transport	<ul style="list-style-type: none"> - Routes terrestres praticables + Routes maritime praticables + Nombre de croisières + Nombre de vols 	<ul style="list-style-type: none"> - Routes de glaces - Routes terrestres praticables + Routes maritimes praticables + Des crues

	Foresterie/ agriculture	+ Feux de forêts	+ Végétation au Nord - Végétation au Nord-Ouest Limite forestière monte vers le Nord + Feux de forêts + Intensité des feux
	Habitations	- Bâtiments publics et privés + Délocalisations des populations 180 communautés vulnérables - Lieux et bâtiments sacrés - Moyens de subsistances	• 1/5 infrastructures touchés - Stabilité pilotis - Stabilité bâtiments + Délocalisations des populations - Moyens de subsistances

	Coût des impacts	• \$ 4,2 milliards à \$5,5 milliards	• 2% à 6% du PIB russe
Réponse	Politique	Politique gouvernementale anti-environnemental Possible changement sous Joe Biden Politique de l'État anti-environnemental - Fonds pour les universités/ recherches scientifiques Politique des villes pro-environnemental	Politique environnementale peu ambitieuse Possible changement après 2020 Ré-étatisation des entreprises + Financement développement de l'Arctique Suspicion de corruption de certains politiciens
	Économie	- Impact environnemental OGCI + Prospection • Teck carbone neutre - Financement du forage par les banques	RSPP lobby contre lois environnementales trop contraignantes Suspicion d'intimidation envers les populations Banque centrale Russe rejoint le NGFS + Utilisation nouvelles technologies + Nouvelles infrastructures
	Sociale	+ Mobilisation citoyenne + Association entre communautés et scientifiques	Mobilisation citoyenne faible et divisée Suspicion de tentatives d'intimidations@

6. DISCUSSION

Il est possible, au vu de nos recherches, de dégager des tendances similaires entre le changement d'écosystème en Alaska et en Sibérie. Tous deux subissant un changement en profondeur de leur écosystème. Ainsi, les tendances dans la disparition de la couche de glace de mer, l'augmentation de l'érosion, la diminution de la superficie des lacs thermokarstiques mais l'augmentation de leurs nombres et l'augmentation du nombre de feux sont plus ou moins similaires dans les deux régions.

Cependant certaines grandes disparités peuvent être mises en avant. Nous pouvons ainsi remarquer que la Sibérie est bien plus densément peuplée que l'Alaska. Cela est notamment dû à son passé communiste. Pendant cette période, une partie de la population a été envoyée de force travailler pour l'industrie d'extraction. Dès la chute de l'Union Soviétique en 1991, un grand nombre de villes de Sibérie sont devenues fantômes, désertées par des populations qui se sont rassemblées en grande partie dans des villes plus grandes de la région. Un deuxième élément qui pourrait justifier cette tendance est plus actuelle avec la promotion de la Sibérie faite en Russie. En effet, le Kremlin désire développer plus intensément cette macro-région et pousse sa population à s'y installer.

La température de l'air et du permafrost en Alaska est beaucoup plus élevée qu'en Sibérie. Cela pourrait s'expliquer par la plus grande taille de la macro-région russe. Effectivement, certaines zones de Sibérie sont moins touchées par les changements climatiques et les impacts du dégel du permafrost dans cette macro-région sont bien plus diversifiés. Nous pouvons remarquer par exemple qu'il y a plus de disparité entre le verdissement et le brunissement en Sibérie qu'en Alaska.

La réponse politique des différents gouvernements pour contrer le réchauffement climatique et le dégel du permafrost dans les deux régions est presque inexistante. Malgré les efforts de quelques villes, l'aveuglement volontaire des autorités russes et américaines par rapport aux impacts qu'ont les infrastructures et activités humains est occupée à détruire tout l'écosystème arctique. Les deux dernières années ont été dramatiques pour l'Alaska et la Sibérie avec des millions d'hectares partis en fumée, des marées noires, des infrastructures qui s'écroulent etc.

Pourtant, les deux régions continuent d'investir dans les énergies fossiles et les matières premières, bien que celles-ci soient à l'origine de tous les dérèglements qui touchent l'Arctique. Ces régions doivent au plus tôt instaurer un cadre juridique plus contraignant face à la dégradation environnementale et participer à la modification de l'économie locale afin de se libérer de leurs dépendances aux énergies non-renouvelables. Car, comme nous avons pu le voir tout au long de cet écrit, les impacts climatiques varient énormément selon les scénarii. Le coût financier final pour ces régions est bien moindre lorsque des actions de résilience ont été mises en place bien à temps. Les gouvernements doivent également aider leur population à trouver des solutions pérennes pour qu'elles puissent continuer à vivre dans les

régions qui leurs sont chères. En Sibérie, après la fuite de pétrole de Norilsk en 2020, Vladimir Poutine s'est engagé à faire plus pour préserver l'environnement lors de ce qui devrait être son dernier mandat. En Alaska, Joe Biden a fait, du retour des États-Unis dans l'accord de Paris et du combat contre le changement climatique l'un des axes principaux de sa stratégie de campagne présidentielle. Le futur nous dira si les dirigeants de ces deux puissances mondiales auront tenu parole

En ce qui concerne les acteurs économiques, leurs initiatives ressemblent, sous certains angles, plus à du « greenwashing » qu'à une réelle volonté de réduire leur impact environnemental. Si nous reprenons l'OGCI comme exemple, ils ont certes la volonté de réduire leur bilan carbone, mais sans pour autant réduire leurs prospections et l'extraction de leurs ressources. Ils se basent principalement sur l'utilisation de nouvelles technologies. La RSPP indique également sur son site qu'elle désire aider à combattre le changement climatique sans pour autant être trop chargée fiscalement et administrativement. Elle est également la raison pour laquelle une loi « pro-environnement » n'a pas été mise en place en Russie. La banque centrale russe a rejoint la NGFS afin de promouvoir de meilleures pratiques d'investissement pour le développement durable. Cependant, une de ses filiales, VTB bank est un des membres du groupe de lobbying RSPP. Les acteurs économiques tentent de montrer qu'ils travaillent à la réduction de leur impact environnemental, mais sans réel succès pour l'instant.

La première limite survenue lors de cette étude est la barrière de la langue concernant le terrain d'étude de la Sibérie. La littérature scientifique est principalement écrite en anglais, mais la littérature grise quant à elle est souvent écrite en russe. La majorité des documents officiels et certains articles de presse ne pouvaient être trouvés qu'en russe. Une partie des informations étaient cependant reprises par des sites d'informations rédigés en anglais. Afin de respecter la méthodologie, les informations exprimées dans des articles de presse ont été vérifiées par confrontation avec des documents officiels. Pour ceux-ci, ainsi que les documents et informations uniquement écrits en russe, nous avons eu recours à des logiciels de traduction ainsi que l'aide de plusieurs personnes dont le russe est la langue maternelle.

La seconde limite à laquelle nous avons dû faire face est la quantité de littérature existant sur le sujet. En effet, comme exprimé précédemment, les causes et conséquences du dégel du permafrost ne sont pas indépendantes les unes des autres. Énormément d'éléments impactent et sont impactés par ce dérèglement arctique. Des limites ont été mises en place afin de ne pas surcharger ce travail. Ainsi, nous avons fait l'impasse sur certains sujets qui n'en demeurent pas moins intéressants, tel que l'impact de la glace de mer sur le Gulf Stream. Les événements environnementaux qui n'ont pas un lien direct avec le dégel du permafrost n'ont ainsi pas été pris en compte tout comme les événements pour lesquels le manque de données ne permet pas de tirer des conclusions.

Une autre limite à la recherche, reprise par plusieurs études, est le nombre de lacunes dans les connaissances sur les zones de permafrost. En effet, l'Arctique est une région très compliquée à étudier, notamment à cause des conditions climatiques extrêmes, des zones reculées et difficiles d'accès. Une étude de 2018 a démontré que 30% de toutes les citations dans 1.840 articles de la littérature scientifique relative aux expériences de terrain dans l'Arctique proviennent des environs proches des deux stations de recherches. (metcalfe, D.B., et al., 2018) Le manque d'investigations dans des zones variées de l'Arctique pourraient biaiser les résultats et conduire à des prévisions inexactes du changement climatique en Arctique. Les conditions climatiques et les saisons impactent fortement la base de données comme l'explique l'Arctic Report Card,. Une étude a montré que pour une région donnée, 80 années d'études de mesures du bilan carbone estivale étaient disponibles contre seulement 9 années d'études de mesures pour des périodes non estivales, ce qui pose un problème de rigueur scientifique. En effet, lors des périodes estivales et l'augmentation de la végétation, l'Arctique devient un puits de carbone, mais hors de ces périodes, elle en rejette. Malheureusement, sans études équivalentes entre périodes estivales et non estivales, la compréhension des flux de carbone reste incomplète.

7. CONCLUSION

Le changement climatique d'origine anthropique est un ensemble d'événements qui viennent modifier les différents écosystèmes terrestres. Parmi les victimes de celui-ci se trouve le permafrost. Cette couche de terre, de roches ou de sédiments gelés recouvre environ 1/5 de la surface du globe. On le retrouve principalement sur les terres émergées de l'hémisphère nord mais également sous la mer arctique. Certaines des zones de permafrost sont gelées depuis plus de 10.000 ans. Le dégel saisonnier de la couche active est normal et même vital pour l'écosystème arctique. Malheureusement, ce dégel est de plus en plus profond et s'étend sur des périodes plus longues.

Le dégel du permafrost a des causes et des conséquences multiples qui sont toutes interconnectées, avec comme élément perturbateur commun les activités humaines. L'amplification polaire est la cause principale de ce dégel prématuré. En effet, l'élévation de température de l'air au pôle est deux fois plus élevée que partout ailleurs. Certains événements participent à l'amplification arctique. C'est le cas de la couverture nuageuse qui devient plus dense en hiver et plus clairsemée en été. Quant à la couverture neigeuse, elle a drastiquement réduit tout comme la période d'enneigement. La température du permafrost a augmenté de 0.29 ± 0.12 °C en une dizaine d'années. Les mers et océans se réchauffent, ce qui participe à la disparition de la glace de mer. Tous ces éléments favorisent le dégel du permafrost.

Lorsqu'il dégèle, le permafrost va également modifier son environnement. Les éléments les plus repris dans la presse sont la libération de gaz à effet de serre ainsi que la découverte de nouvelles bactéries. Ces informations doivent cependant être étudiées plus en profondeur car il y a encore beaucoup d'inconnues. Les systèmes aquatiques arctiques sont également impactés. Le niveau des lacs, rivières, mers et océans a en moyenne augmenté. Pour les corps d'eau terrestre, leur sort varie selon la zone où ils se trouvent. S'ils se situent sur un sol avec de bonnes conditions de drainage, toute l'eau va s'évacuer et les sols vont s'assécher. Au contraire, si les sols ont de mauvaises conditions de drainage, l'eau va stagner et inonder ce qui l'entoure. Ces conditions s'exacerberont dans un futur proche et lointain. L'érosion des terres est la conséquence du dégel impactant le plus l'Homme et ses infrastructures. 65% des matériaux meubles des côtes arctiques sont maintenus ensemble par la glace. La végétation et les animaux sont également en pleine évolution. Les espèces vivant en Arctique se modifient. Dans certaines zones, il y a une augmentation de la végétation alors que dans d'autres, il y a une baisse et ainsi un brunissement de l'Arctique. Le futur de la biodiversité et le rôle qu'elle pourrait jouer sur le dégel du permafrost est encore incertain. D'une part, l'augmentation de la végétation pourrait absorber l'excédent d'eau. D'autre part, cette augmentation pourrait réchauffer les sols et donc aggraver le dégel du permafrost. Les animaux, quant à eux, migrent et recherchent de nouvelles zones qui leurs sont plus propices.

L'Alaska est le 49^e état des États-Unis d'Amérique. La très grande majorité de sa population vit dans le sud, dans la région métropolitaine d'Anchorage ainsi que dans d'autres grandes villes. Une infime partie vit en communauté sur les côtes. Son économie se base sur l'extraction d'énergie fossile et de minerais, ainsi que sur le tourisme. 80% de son territoire se trouve sur du permafrost. Logiquement, la couche de permafrost est plus sporadique au fur et à mesure que l'on se dirige vers le sud de l'état. En une vingtaine d'années, la couche active a augmenté de 23 à 33 cm et sa température a augmenté de 1,2°C à 3,2°C en quarante ans. D'ici 2100, 57% des zones de permafrost auront dégelé. La TAS a augmenté de 2°C depuis un siècle. La température des mers qui entourent l'Alaska a augmenté de 1°C à 7°C depuis le début des années 1980. La CGM disparaît de plus en plus tôt puisque les côtes de l'État sont libres de toute glace trois à quatre mois par an. La saison neigeuse a fortement diminué depuis la fin des années 1990. Il y a une augmentation de l'assombrissement de la neige car il y a de moins en moins de nouvelles neiges immaculées qui tombent. En trente ans, la quantité de neige blanche a diminué de 78 km². 30 à 40% de la couche neigeuse aura disparu d'ici 2050. Il y a aussi une augmentation de la couverture nuageuse et une hausse des précipitations.

Les régions de la Toundra et des forêts boréales sont devenues des sources de carbone et non plus des puits de carbone. Il y a eu une augmentation du nombre de lacs thermokarstiques mais une diminution de la superficie totale des lacs. Lors de la création de ces lacs, une quantité de méthane auparavant enfermée est rejetée dans l'atmosphère. L'érosion des fjords et des côtes est l'une des conséquences les plus marquantes en Alaska. La végétation est occupée à augmenter ainsi que la virulence et le nombre de feux de forêts. Les impacts du dégel de permafrost vont s'intensifier dans les années futures.

La Sibérie est une macro-région de la Russie divisée en plusieurs niveaux politiques et économiques. C'est une des régions les moins peuplées au monde. La population vit dans des villes mono-industrielles, construites près de mines. Son économie est basée en grande majorité sur l'extraction d'énergie fossiles et de minerais, et une infime partie se base sur la pêche et la foresterie. Cette macro-région comprend la plupart du permafrost terrestre et marin de l'hémisphère nord. Le permafrost sous-marin, sa quantité de méthane et les conséquences futures posent énormément débat au sein de la communauté scientifique. La couche active du permafrost terrestre a augmenté de 17,4 à 58 cm en soixante ans. Sa température a en moyenne crû de 0,92% en 10 ans. La TAS a augmenté en moyenne de 1°C depuis l'ère préindustrielle et d'ici 2050, les températures pourraient croître de 7°C. L'été de l'année 2020 a été le plus chaud jamais enregistré avec la superficie de la CGM la deuxième plus petite depuis 1979. La durée des périodes d'enneigements a diminué sur le territoire mais l'épaisseur de la couche dépend des zones. À l'Ouest, elle augmente mais à l'Extrême-Orient Sibérien elle diminue drastiquement. L'aspect de couche nuageuse subit également une transformation. La superficie des lacs dans le permafrost discontinu a diminué de 11% à 29% mais dans le permafrost continu, la superficie a augmenté de 11% à 42%. Il y aura une augmentation des inondations de 2% à 5% d'ici 2050. 70% du Yedoma a été touché depuis la dernière ère glaciaire. Les côtes s'érodent de 20

à 30 m par an. Il y a une augmentation de la productivité végétale partout sauf dans certaines zones à l'ouest de la Sibérie. En 2020, plus de 18.591 feux de forêts ont été recensés. Les virus contenus dans le permafrost sibérien sont souvent repris dans la littérature grise. Plusieurs virus géants ont été découverts et réanimés sans poser, a priori, de danger pour l'Homme.

Les activités humaines sont la cause principale du dégel du permafrost. Plus de 3,6 millions de personnes, soit $\frac{3}{4}$ des habitants de l'Arctique, vivent dans des zones où le permafrost est très vulnérable au dégel. En Alaska, l'industrie minière contamine principalement les eaux et les airs en raison des résidus toxiques qu'elle relâche. Les infrastructures pour l'industrie du gaz et du pétrole font entre autre augmenter la température du sol et perturbent la végétation et la couverture neigeuse. Les transports de personnes ou de marchandises par bateau, avion et voiture rejettent beaucoup de GES. Les infrastructures nécessaires au transport dérangent ainsi les écosystèmes. Toutes les infrastructures sont touchées par le dégel du permafrost, avec des aéroports, des routes et des bâtiments qui s'effondrent. Les sols autour du TAPS ont besoin d'être constamment refroidis. Les petites communautés côtières sont les plus vulnérables face au dégel et à l'érosion qui les poussent à devoir se relocaliser. L'Alaska déboursait environ \$11 millions par an dans la réparation des infrastructures et ce montant pourrait s'élever à \$5,5 milliards pour la période de 2015 à 2099, selon le RCP 8,5. Le Gouvernement fédéral et local ont pris le parti des entreprises d'extraction au détriment de la conservation et de la protection de l'environnement. La politique des municipalités, cependant, tente de réduire leur impact environnemental. Différents acteurs économiques se sont engagés à réduire leur impact environnemental sans pour autant s'attaquer à leur modèle économique. Les populations locales et surtout côtières sont celles qui font le plus d'efforts pour tenter de protéger la terre de leurs ancêtres.

En Sibérie, les industries d'extraction sont très polluantes car, pour la plupart, leurs infrastructures sont vétustes et obsolètes. Les mines rejettent de l'oxyde de cuivre, du nickel, du dioxyde de soufre et créent du noir de carbone qui pollue ensuite l'atmosphère, les sols et les cours d'eau. En 2019, 819 fuites de pétroles ont été recensées et le transport de ce pétrole via bateau, camion ou pipeline consomme beaucoup d'énergie, participant à l'augmentation de la couche active et au dégel. L'agriculture est à la base de nombreux feux de forêts. Environ 20% de l'exploitation forestière serait illégale. Toutes les infrastructures sont vulnérables. Les routes de glace fondent plus tôt, les routes de bétons se fissurent, les bâtiments s'effondrent. La Sibérie a subi en 2020 la pire fuite de pétrole de son histoire. Comme énoncé ci-dessus, les infrastructures sont vieilles et ne sont pas faites pour résister au dégel du permafrost et à ses conséquences. D'ici 2030, les impacts du changement climatique pourraient coûter jusqu'à 5-6% du PIB. La politique climatique russe est timide car la Sibérie est riche en matières premières que le Kremlin désire pouvoir extraire. Beaucoup plus de projets de développement sont mis en place que de projets de protection de l'environnement. Selon certains témoignages, le gouvernement serait également

corrompue par des industries de forage. Les acteurs économiques se basent principalement sur de nouvelles technologies et infrastructures pour réduire leur impact environnemental. La population, quant à elle, est divisée car les entreprises de forage sont bien souvent les seules sources de revenus possibles, même si celles-ci détruisent leur environnement.

Comme nous avons pu le voir tout au long de ce travail, le dégel du permafrost n'est pas un sujet simple car il est la cause et la conséquence d'une multitude d'autres facteurs environnementaux. L'Alaska et la Sibérie sont des régions riches en matières premières et convoitées pour leurs sols. C'est en revanche par cette avidité en ressources minérales que l'écosystème arctique dépérit peu à peu. Si l'Homme veut pouvoir continuer à vivre sur cette Terre et occuper l'Arctique, il doit réussir à se défaire de cette dépendance en minéraux et en énergies fossiles. Dans ces deux régions, la politique était tournée vers les industries polluantes car elles sont les piliers de l'économie de leurs pays. Il serait intéressant dans une autre étude d'analyser quelles alternatives économiques pourraient être mises en place en Alaska et en Sibérie afin de permettre aux populations locales et à l'économie de ne plus dépendre des industries d'extraction pour prospérer. Ainsi, les politiques pourraient se concentrer sur la protection et la régénération des écosystèmes.

L'Homme doit absolument changer de trajectoire s'il ne veut pas être responsable de sa propre extinction.

BIBLIOGRAPHIE

Sources citées

1. AAAS. 2020, « Alaskan Communities Adapt to Dramatic Climate Change. », in *AAAS*, en ligne. <https://howwerespond.aaas.org/community-spotlight/alaskan-communities-adapt-to-dramatic-climate-change/>. 14/12/2020.
2. Alaska Department of Environmental Conservation, Division of Air Quality. 2018, « Alaska Greenhouse Gas Emissions Inventory 1990-2015. », 48 pages. https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKFwiLo9r1o_LtAhUC8xOKHc2RCr0QFjABegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fdec.alaska.gov%2Fmedia%2F7622%2Fghg-inventory-report-013018.pdf&usg=AOvVaw0fvVuIN9gB_2c-LJehcukg. 15/12/2020.
3. Alaska Department of Environmental Conservation, Division of Air Quality. 2018, « Alaska Greenhouse Gas Emissions Inventory 1990-2015. », 3 pages. <https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewjkILfkvhTtAhUGnBQKHVRiAAsQFjABegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fdec.alaska.gov%2Fmedia%2F7623%2Fghg-inventory-report-overview-013018.pdf&usg=AOvVaw0DJzWwzSo0yaZHlaZD14yA>. 15/12/2020.
4. Alaska Oil and Gas Association. 2020, « The role of the Oil & Gas Industry in Alaska's Economy. », en ligne, 68 pages. https://www.aoga.org/sites/default/files/mcdowell_group_aoga_report_final_1-24-2020.pdf. 19/10/2020.
5. Alaska Public Land Information Centers. 2020, « By air. », in *Alaska Public Land Information Centers*, en ligne. <https://www.alaskacenters.gov/trip-planning/travel/air>. 8/12/2020.
6. Alaska Public Land Information Centers. 2020, « The Trans-Alaska Pipeline. », in *Alaska Public Land Information Centers*, en ligne. <https://www.alaskacenters.gov/explore/attractions/trans-pipeline>. 7/12/2020.
7. AMAP. 2012, « Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. », in *AMAP*, en ligne. <https://www.amap.no/documents/doc/arctic-climate-issues-2011-changes-in-arctic-snow-water-ice-and-permafrost/129>. 01/11/2020.
8. American Experience. 2020, « Pipeline Designs to Protect Permafrost. », in *Public Broadcasting Service*, en ligne. <https://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/pipeline-designs-protect-permafrost/>. 9/12/2020.
9. Antonova, M. 2020, « Putin Tells Metals Giant to Pay for Full Cleanup After Arctic Spill. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2020/06/05/putin-tells-metals-giant-to-pay-for-full-cleanup-after-arctic-spill-a70493>. 16/12/2020.
10. Arctic Council. 2019, « Arctic states. », in *Arctic Council*, en ligne. <https://arctic-council.org/en/about/states/>. 28/12/20.
11. Arthur, L. 2019, « An Analysis of Arctic Coastal Resilience in Response to Erosion. », in *Science Buzz*, en ligne. <https://www.sciencebuzz.com/analysis-arctic-coastal-resilience-response-erosion/>. 10/12/2020.
12. Baker, M. 2019, «Blindsided by a 'Devastating' Veto, Alaska's University System Pleads for a Lifeline», in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2019/07/07/us/alaska-university-budget-cuts.html>. 22/12/2020.
13. Bamber, J.L., Oppenheimer M., Kopp, R.E., Aspinall, W.P., Cooke, R.M. 2019, « Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgment. », in *PNAS*, en ligne. <https://www.pnas.org/content/116/23/11195>. 03/11/2020.
14. Bank of Russia. 2019, « The Bank of Russia has joined the Central Banks and Supervisors Network for Greening the Financial System. », in *Bank of Russia*, en ligne. <http://www.cbr.ru/eng/press/event/?id=5239>. 26/12/2020.
15. Bank of Russia. 2020, « Environment protection, human capital and corporate governance: Bank of Russia sets principles for responsible investment. », in *Bank of Russia*, en ligne. <https://www.cbr.ru/eng/press/event/?id=6932>. 26/12/2020.

16. BBC. 2020, « Arctic Circle oil spill prompts Putin to declare state of emergency. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/news/world-europe-52915807>. 16/12/2020.
17. BBC. 2020, « Russian Arctic oil spill pollutes big lake near Norilsk. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/news/world-europe-52977740>. 27/12/2020.
18. Becker, U., Vasileva, A. 2017, « Russia's political economy re-conceptualized: A changing hybrid of liberalism, statism and patrimonialism. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1879366516300276>. 27/12/2020.
19. Beer, C., Zimov, N., Olofsson, J., Porada, P., Zimov, S. 2020, « Protection of Permafrost Soils from Thawing by Increasing Herbivore Density. », in *Scientific reports*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-60938-y>. 30/10/2020.
20. Berner L.T., Jantz, P., Tape K.D., Goetz, S.J. 2018, « Tundra plant above-ground biomass and shrub dominance mapped across the North Slope of Alaska. », in *IOP science*, en ligne. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaaa9a/meta>. 19/10/2020.
21. Berner, L.T., Massey, R., Jantz, P., Forbes, B.C., Marcias-Fauria, M., Myers-Smith, I., Kumpula, T., Gautier, G., Andreu-Hayles, L., Gaglioti, B.V., Burns, P., Zetterberg, P., D'Arrigo, R., Goetz, S.J. 2020, « Summer warming explains widespread but not uniform greening in the Arctic tundra biome. », in *Nature communications*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41467-020-18479-5>. 22/10/2020.
22. Bernton, H. 2019, « As Alaska permafrost melts, roads sink, bridges tilt and greenhouse gases escape. », in *Anchorage Daily News*, en ligne. <https://www.adn.com/alaska-news/weather/2019/12/17/as-alaska-permafrost-melts-roads-sink-bridges-tilt-and-greenhouse-gases-escape/>. 10/12/2020.
23. Berteaux, D., Gauthier, G., Domine, F., Ims, R.A., Lamoureux, S.F., Lévesque, E., Yoccoz, N. 2016, « Effects of changing permafrost and snow conditions on tundra wildlife: critical places and times », in Canadian Science Publishing, en ligne. <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/as-2016-0023>. 29/10/2020.
24. Bessette-Kirton, E.K., Coe, J.A. 2020, « A 36-Year Record of Rock Avalanches in the Saint Elias Mountains of Alaska, With Implications for Future Hazards. », in *Frontiers in Earth Science*, en ligne. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.00293/full>. 18/10/2020.
25. BidenHarris. 2020, « The Biden Plan for a Clean Energy Revolution and Environmental Justice. », in *BidenHarris*, en ligne. <https://joebiden.com/climate-plan/>. 12/12/2020.
26. Bintanja, R., Andry, O. 2017, « Towards a rain-dominated Arctic. », in *Nature climate change*, en ligne. https://www.nature.com/articles/nclimate3240?WT.feed_name=subjects_astronomy-and-planetary-science. 24/10/2020.
27. Biskaborn, B.K., Smith, S.L., Jeannette, N., Heidrun, M., Gonçalo, V. Streletskiy, D.A., Philippe, S., Romanovsky, V.E., Lewkowicz, A.G., Andrey, A., Allard, M., Boike, J., Cable, W.L., Christiansen, H.H., Reynald, D., Bernhard, D., Dmitry, D., Bernd, E., Guido, G., Mauro, G., Ingeman-Nielsen, T., Ketil, I., Mamoru, I., Margareta, J., Halldor, J., Anseok, J., Dmitry, K., Alexander, K., Pavel, K., Kröger, T., Christophe, L., Jean-Pierre, L., Dongliang, L., Galina, M., Meiklejohn, I., Natalia, M., Oliva, M., Phillips, M., Ramos, M., Sannel A Britta, K., Dmitrii, S., Seybold, C., Pavel, S., Vasiliev, A., Gingbai, W., Kenji, Y., Mikhail, Z., Hugues, L. 2019, « Permafrost is warming at a global scale. *Nature communications*. », in *ProQuest*. en ligne. https://search-proquest-com.ezproxy.ulb.ac.be/docview/2167790208?rfr_id=info%3Axri%2Fsid%3Aprimo. 06/11/2020.
28. Blich, T., Christiansen, H.H. 2015, « Chapter 7 - Mountains, Lowlands, and Coasts: The Physiography of Cold Landscapes. », in *ScienceDirect*, en ligne, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012394849600007X>. 09/11/2020.
29. BLM. 2020, « Notice of Sale to be Issued for Coastal Plain Oil and Gas Leasing Program Dec. 7. », in *U.S. Department of the interior*, en ligne. <https://www.blm.gov/press-release/notice-sale-be-issued-coastal-plain-oil-and-gas-leasing-program-dec-7>. 12/12/2020.
30. Bloomberg. 2019, « Russia's thawing permafrost worrying for mining, oil and gas companies. », in *Engineering News*, en ligne. <https://www.engineeringnews.co.za/article/russias-thawing-permafrost-worrying-for-mining-oil-and-gas-companies-2019-10-18>. 27/12/2020.

31. Blunden, J., Arndt, D.S. 2020, « State of the Climate in 2019. », in *BAMS*, en ligne. <https://journals.ametsoc.org/bams/article/101/8/S1/353885/State-of-the-Climate-in-2019>. 06/11/2020.
32. Bohrer, B. 2019, « Alaska is considering whether to change oil spill plan requirements. », in *Anchorage Daily News*, en ligne. <https://www.adn.com/business-economy/energy/2019/10/16/alaska-is-considering-whether-to-change-oil-spill-plan-requirements/>. 13/12/2020.
33. Bokhorst, S., Pedersen, S.H., Brucker, L., Anisimov, O., Bjerke, J.W., Brown, R.D., Ehrlich, D., Essery, R.L.H., Heilig, A., Ingvander, S., Johansson, C., Johansson, M., Jónsdóttir, I.S., Inga, N., Luoju, K., Macelloni, G., Mariash, H., McLennan, D., Rosqvist, G.N., Sato, A., Savela, H., Schneebeli, M., Sokolov, A., Sokratov, S.A., Terzago, S., Vikhamar-Schuler, D., Williamson, S., Qiu, Y., Callaghan, T.V. 2016, « Changing Arctic snow cover: A review of recent developments and assessment of future needs for observations, modelling, and impacts. », in *SpringerLink*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-016-0770-0#citeas>. 20/10/2020.
34. Borunda, A. 2020, « What a 100-degree day in Siberia really means. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/06/what-100-degree-day-siberia-means-climate-change/>. 29/10/2020.
35. Braun, A. 2020, « Examining Why the Pebble Mine Died. », in *Hakai magazine*, en ligne. <https://www.hakaimagazine.com/news/examining-why-the-pebble-mine-died/>. 11/12/2020.
36. Briggs, C., Daanen, R., Dufresne, A., Freymueller, J.T., Geertsema, B., Jacquemart, M., Koppes, M., Liljedahl, A., Lynett, P., Nicolsky, D., Weiss, R., Wolken, G.J. 2020, « A recently discovered unstable slope in Barry Arm could lead to a landslide-generated tsunami. », en ligne, 7 pages. https://dggs.alaska.gov/hazards/download/Barry_Arm_Landslide_Working_Group_2020_05_14.pdf. 18/10/2020.
37. Brouchkov, A., Griva, G., O'Hashi, K. 2018, « Pipelines on Russian North: review of problems of interaction with permafrost. », en ligne, 42 pages. <https://geocryology.files.wordpress.com/2013/05/pipelines-on-russian-north.pdf>. 23/12/2020.
38. Brunell, D. 2014, « What we didn't see at Sochi. », in *Renton Reporter*, en ligne. <https://www.rentonreporter.com/opinion/what-we-didnt-see-at-sochi-don-brunell/>. 19/12/2020.
39. Buchholz, K. 2020, « Rising Sea Levels Will Threaten 200 Million People by 2100. », in *Statista*, en ligne. <https://www.statista.com/chart/19884/number-of-people-affected-by-rising-sea-levels-per-country/>. 28/10/2020.
40. Burck, J., Hagen, U., Höhne, N., Nascimento, L., Bals, C. 2020, « Climate Change Performance Index 2021. », in *Climate Change Performance Index*, en ligne. <https://ccpi.org/download/the-climate-change-performance-index-2021/>. 25/12/2020.
41. Bykova, A. 2020, « Permafrost Thaw in a Warming World: The Arctic Institute's Permafrost Series Fall-Winter 2020. », in *the Arctic Institute*, en ligne. <https://www.thearcticinstitute.org/permafrost-thaw-warming-world-arctic-institute-permafrost-series-fall-winter-2020/>. 28/10/2020.
42. Callaghan, T.V., Johansson, M., Brown, R.D., Groisman, P.Y., Labba, N., Radionov, V., Barry, R.G., Bulygia, O.N., Essery, R.L.H., Frolov, D.M., Golubev, V.N., Grenfell, T.C., Petrushina, M.N., Razuvaev, V.N., Robinson, D.A., Romanov, P., Shindell, D., Shmakin, A.B., Sokratov, S., Warren, S., Yang, D. 2012, « The Changing Face of Arctic Snow Cover: A Synthesis of Observed and Projected Changes. », in *Springer*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13280-011-0212-y>. 29/10/2020.
43. Cappucci, M., Eilperin, J., Freedman, A., Dennis, B. 2019, « Alaska's sweltering summer is "basically off the charts." », in *The Washington post*, en ligne. https://www.washingtonpost.com/climate-environment/alaskas-sweltering-summer-is-basically-off-the-charts/2019/07/31/d3ffa082-b2d9-11e9-951e-de024209545d_story.html. 18/10/2020.
44. Carlton, J. 2009, « Keeping it frozen. », in *The wall street journal*, en ligne. <https://www.wsj.com/articles/SB10001424052748704576204574531373037560240>. 9/12/2020.
45. Chapple, A., Grojec, W. 2020, « On Siberia's Ice Highway. », in *RadioFreeEurope RadioLiberty*, en ligne. <https://www.rferl.org/a/on-siberias-ice-highway/27706633.html#>. 21/12/2020.
46. Ciavarella, A., Cotterill, D., Stott, P., Kew, S., Philip, S., Jan van Oldenborgh, G., Skålevåg, A., Lorenz, P., Robin, Y., Otto, F., Hauser, M., Seneviratne, S.I., Lehner, F., Zolina, O. 2020, «

- Siberian heatwave of 2020 almost impossible without climate change. », in *World Weather Attribution*, en ligne. <https://www.worldweatherattribution.org/siberian-heatwave-of-2020-almost-impossible-without-climate-change/>. 28/10/2020.
47. City of Homer. 2007, « Climate Action Plan. », en ligne, 50 pages. https://www.cityofhomer-ak.gov/sites/default/files/fileattachments/city_council/page/6722/climate_action_plan.pdf. 14/12/2020.
 48. Climate Action Tracker. 2020, « Russian Federation. », in *Climate Action Tracker*, en ligne. <https://climateactiontracker.org/countries/russian-federation/current-policy-projections/>. 26/12/2020.
 49. ClimateChange Post. 2020, « Russia. », in *ClimateChangePost*, en ligne. <https://www.climatechangepost.com/russia/permafrost/>. 30/10/2020.
 50. Coe, J.A. 2016, « Landslide hazards and climate change: a perspective from the United States. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/312489460_Landslide_Hazards_and_cLimate_Change_A_Perspective_from_the_United_States. 19/10/2020.
 51. Commane, R., Lindaas, J., Benmergui, J., Luus, K.A., Chang, R.Y. _ W., Daube, B.C.n Euskirchen, E.S., Henderson J.M., Karion, A., Miller, J.B., Miller, S.M., Parazoo, N.C., Randerson, J.T., Sweeney, C., Tans, P., Thoning, K., Veraverbeke, S., Miller, C.E., Wofsy, S.C. 2017, « Carbon dioxide sources from Alaska driven by increasing early winter respiration from Arctic tundra. », in *PNAS*, en ligne. <https://www.pnas.org/content/114/21/5361>. 21/10/2020.
 52. Connor, B., Harper, J. 2013, « How Vulnerable Is Alaska's Transportation to Climate Change? », en ligne, 7 pages. <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/trnews284alaska.pdf>. 11/12/2020.
 53. Cook, J., Oreskes, N., Doran, P.T., Anderegg, W.R..L., Verheggen, B., Mailbach, E.W., Carlton, J.S., Lewanowsky, S., Skuce, A.G., Green, S.A., Nuccitelli, D., Jacobs, P., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Rice, K. 2016, « Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. », in *IOPScience*, en ligne. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/048002>. 28/12/2020.
 54. Cooke, K. 2020, « Siberia dries out as forests burn and climate heats. », in *Climate news network*, en ligne. <https://climatenewsnetwork.net/siberia-dries-out-as-forests-burn-and-climate-heats/>. 24/12/2020.
 55. Copernicus. 2019, « Road and River Transport in Central Yakutia, East Siberia, Russia. », en ligne, 10 pages. https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/2019-03/09.30_01_b_MPI%208%20minutes-D_St.%20Petersburg%20uni.pdf. 22/12/2020.
 56. Copernicus. 2020, « Arctic Siberia's unusual warm spell continues. », in *Copernicus*, en ligne. <https://climate.copernicus.eu/arctic-siberias-unusual-warm-spell-continues>. 29/10/2020.
 57. Copernicus. 2020, « Investigating an unusually mild winter and spring in Siberia. », in *Copernicus*, en ligne. <https://climate.copernicus.eu/investigating-unusually-mild-winter-and-spring-siberia>. 29/10/2020.
 58. Cordell, J. 2020, « Climate Change Threatens Russia's Economic Growth, Watchdog Warns. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2020/01/14/climate-change-threatens-russias-economic-growth-watchdog-warns-a68878>. 20/12/2020
 59. Cornwall, W. 2020, « Critics blast U.S. study finding huge Alaskan mine poses little environmental risk. », in *Science*, en ligne. <https://www.sciencemag.org/news/2020/07/critics-blast-us-study-finding-huge-alaskan-mine-poses-little-environmental-risk>. 11/12/2020.
 60. Cotsirilos, T. 2017, « Citing safety concerns, airlines refuse to fly to Tununak Airport. », in *Alaska public media*, en ligne. <https://www.alaskapublic.org/2017/10/11/citing-safety-concerns-airlines-refuse-to-fly-to-tununak-airport/>. 9/12/2020.
 61. Dahlman L, Lindsey, R. 2020, « Climate Change: Spring Snow Cover. », in *Climate.gov*, en ligne. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-spring-snow-cover>. 10/11/2020. 24/10/2020.
 62. Davesne, G. 2012 « Modalité d'enneigement et impact thermique du couvert nival sur le permafrost des parois raides au sommet de l'Aiguille du Midi. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/280013958_Modalite_d'enneigement_et_impact_thermique_du_couvert_nival_sur_le_permafrost_des_parois_raides_au_sommet_de_l'Aiguille_du_Midi_3842_m_d'alt_massif_du_Mont_Blanc_France. 03/11/2020.

63. Davis, C. 2019, « Hilcorp Captures BP's Legacy Alaska Oil, Gas Operations for \$5.6B. », in *Natural Gas Intelligence*, en ligne. <https://www.naturalgasintel.com/hilcorp-captures-bps-legacy-alaska-oil-gas-operations-for-5-6b/>. 15/12/2020.
64. Davydova, N.D., Znamenskaya, T.I. 2016, « The geological problems of Siberia associated with the development of nonferrous metallurgy. », in *SpringerLink*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1134/S1875372816040053>. 18/12/2020.
65. Deluzarche, C. 2018 « Sibérie : des vers ressuscitent du sol gelé après 42.000 ans. », in *Futura Planète*, en ligne. <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/animaux-siberie-vers-ressuscitent-sol-gele-apres-42000-ans-72205/>. 02/11/2020.
66. Di Liberto, T. 2019, « High temperatures smash all-time records in Alaska in early July 2019. », in *NOAA*, en ligne. <https://www.climate.gov/news-features/event-tracker/high-temperatures-smash-all-time-records-alaska-early-july-2019>. 19/10/2020.
67. Dieleman, C. 2020, « Heat waves, wildfire & permafrost thaw: The North's climate change trifecta. », in *The Conversation*, en ligne. <https://theconversation.com/heat-waves-wildfire-and-permafrost-thaw-the-norths-climate-change-trifecta-142220>. 06/11/2020.
68. Digges, C. 2018, « Putin decrees an increase in Arctic traffic. », in *Bellona*, en ligne. <https://bellona.org/news/arctic/russian-nuclear-icebreakers-fleet/2018-05-putin-decrees-an-increase-in-arctic-traffic>. 26/12/2020.
69. Dmitrenko, I.A., Kirillov, S.A., Tremblay, L.B., Kassens, H., Anisimov, O.A., Lavrov, S.A., Razumov, S.O., Grigoriev, M.N. 2011, « Recent changes in shelf hydrography in the Siberian Arctic: Potential for subsea permafrost instability. », in *AGU*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2011JC007218>. 02/12/2020.
70. Dobricic, S. Pozzoli, L. 2019, « Arctic permafrost thawing. », en ligne, 48 pages. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109379/arctic_permafrost_thawing_online.pdf. 24/12/2020.
71. Douglas, T.A., Turetsky, M.R., Koven, C.D. 2020, « Increased rainfall stimulates permafrost thaw across a variety of Interior Alaskan boreal ecosystems. », in *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41612-020-0130-4>. 19/10/2020.
72. Earls, M. 2019, « Alaska's Coastal Communities Face a Growing Climate Threat. », in *Scientific American*, en ligne. <https://www.scientificamerican.com/article/alaskas-coastal-communities-face-a-growing-climate-threat/>. 10/12/2020.
73. Eckel, M. 2020, « Melting Down: Climate Change May Prove A Major Problem For Russia's Arctic Infrastructure. », in *RadioFreeEurope RadioLiberty*, en ligne. <https://www.rferl.org/a/russia-norilsk-arctic-infrastructure-problems-climate-change-may-prove-a-major-problem-for-russia-s-arctic-infrastructure/30663783.html>. 23/12/2020.
74. Eilperin, J. 2020, « Trump finalizes drilling plan for Arctic National Wildlife Refuge. », in *The Washington Post*, en ligne. <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2020/08/17/trump-drilling-arctic-national-wildlife-refuge-alaska/>. 12/12/2020.
75. Emerson, S. 2019, « Toxic black snow in covering towns in Siberia. », in *Vice*, en ligne. <https://www.vice.com/en/article/zmayq5/toxic-black-snow-is-covering-towns-in-siberia>. 18/12/2020.
76. ENVJUST PROJECT ICTA-UAB. 2020, « Gas and oil extraction, Kamchatka, Eastern Siberia, Russia. », in *Environmental Justice Atlas*, en ligne. <https://ejatlas.org/conflict/gas-and-oil-extraction-kamchatka-eastern-siberia-russia>. 27/12/2020.
77. Epstein, H., Bhatt, U., Reynolds, M., Walker, D., Forbes, B., Phoenix, G., Bjerke, J., Tømmervik, H., Karlsen, S.-R., Myneni, R., Park, T., Goetz, S., Jia, G. 2018, « Tundra Greenness. », in *Arctic Program*, en ligne. <https://arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2018/ArtMID/7878/ArticleID/777/Tundra-Greenness>. 04/12/2020.
78. European environment agency. 2020, « Global and European sea-level rise. », in *European Environment Agency*, en ligne. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-6/assessment.30/10/2020>. 28/10/2020.
79. Foltynova, K. 2020, « Sweltering in Siberia: what's behind the heat wave? », in *RadioFreeEurope*, en ligne. <https://www.rferl.org/a/sweltering-in-siberia/30767417.html>. 03/12/2020. 22/12/2020.

80. Fountain, H. 2020, « Sale of the arctic Refuge oil and gas leases set for early january. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2020/12/03/climate/arctic-refuge-lease-sales.html>. 12/12/2020.
81. FSTAMMLE. 2020, « Record early river-thaw in Siberia. », in *Arctic Anthropology*, en ligne. <https://arcticanthropology.org/2020/05/19/record-early-river-thaw-in-siberia/>. 22/12/2020.
82. Fukuhara, R. 2018, « Human and Nature Revisited: The Industrial Revolution, Modern Economics and the Anthropocene. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/323262802_Human_and_Nature_Revisited_The_Industrial_Revolution_Modern_Economics_and_the_Anthropocene. 28/12/2020.
83. Futura planète. 2020, « Polynie. », in *Futura planète*, en ligne. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/oceanographie-polynie-5322/>. 03/12/2020.
84. Futura planète. 2020, « Albédo. », in *Futura Planète*, en ligne. <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-albedo-1023/>. 10/11/2020.
85. Ganesan, S., Sangeetha, R. 2019, « Health implications of exposure to coal mine dust in workers – A Review. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/332732633_Health_implications_of_exposure_to_coal_mine_dust_in_workers_-_A_Review. 18/12/2020.
86. Gazprom. 2020, « Environmental impacts. », in *Gazprom*, en ligne. <https://www.gazprom.com/nature/environmental-impact/>. 25/12/2020.
87. Gazprom. 2020, « Power of Siberia. », in *Gazprom*, en ligne. <https://www.gazprom.com/projects/power-of-siberia/>. 23/12/2020.
88. Gazprom. 2020, « Shares. », in *Gazprom*, en ligne. <https://www.gazprom.com/investors/stock/>. 25/12/2020.
89. Gershkovich, E. 2019, « How Does a Powerful Russian Lobby Plan to Halt Climate Change? With Coal, Oil and Gas. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2019/11/15/how-does-a-powerful-russian-lobby-plan-to-halt-climate-change-with-coal-oil-and-gas-a68173>. 26/12/2020.
90. Grasshopper Geography. 2020, « River basin map of Russia. », in *Grasshopper Geography*, en ligne. <https://www.grasshoppergeography.com/River-Maps/i-M9RTKbm/A>. 29/12/2020.
91. Gray, E. 2018, « Unexpected future boost of methane possible from Arctic permafrost. », in *NASA*, en ligne. <https://climate.nasa.gov/news/2785/unexpected-future-boost-of-methane-possible-from-arctic-permafrost/>. 23/10/2020.
92. Gray, R. 2020, « The mystery of Siberia's exploding craters. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/future/article/20201130-climate-change-the-mystery-of-siberias-explosive-craters>. 04/12/2020.
93. Greenpeace. 2020, « До и после: авария на Таймыре в космоснимках. », in *Greenpeace*, en ligne. <https://greenpeace.ru/news/2020/06/02/do-i-posle-avarija-na-tajmyre-v-kosmosnimkah/>. 16/12/2020.
94. GRID-Arendal. 2020, « New map shows extent of permafrost in Northern Hemisphere. », in *GRID Arendal*, en ligne. <https://news.grida.no/new-map-shows-extent-of-permafrost-in-northern-hemisphere>. 26/10/2020.
95. Griffin, R. 2020, « FEATURE: Arctic oil drilling under scrutiny after latest Russian spill. », in *S&P Global*, en ligne. <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/natural-gas/060920-feature-arctic-oil-drilling-under-scrutiny-after-latest-russian-spill>. 15/12/2020.
96. Gruber, S., Haeberli, W. 2007, « Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. », in *Advancing Earth and Space Science*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2006JF000547>. 18/10/2020.
97. Günther, F., Overduin, P.P., Sandakov, A.V., Grosse, G., Grigoriev, M.N. 2013, « Short- and long-term thermo-erosion of ice-rich permafrost coasts in the Laptev Sea region. », in *Biogeosciences*, en ligne. <https://bg.copernicus.org/articles/10/4297/2013/>. 02/12/2020.
98. Haddaway, N.R., Cooke, S.J., Lesser, P., Macura, B., Nilsson, A.E., Taylor, J.J., Raito, K. 2019, « Evidence of the impacts of metal mining and the effectiveness of mining mitigation measures on social-ecological systems in Arctic and boreal regions: a systematic map protocol. », in *BMC*, en ligne. <https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-019-0152-8>. 7/12/2020.

99. Hamakareem, M.I. 2020, « Frost Heave – How it works, effects, and prevention. », in *The Constructor*, en ligne. <https://theconstructor.org/practical-guide/frost-heave-effects-prevention/29754/>. 27/12/2020.
100. Handwerk, B. 2011, « Some Arctic Coasts Eroding by a Hundred Feet a Year. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/news/2011/4/110418-arctic-erosion-global-warming-ice-environment/>. 02/12/2020.
101. Harder, J. 2020, « Russia's mining industry on an upswing. », in *AT mineral processing*, en ligne. <https://www.at-minerals.com/en/artikel/at-Russia-s-mining-industry-on-an-upswing-3507564.html>. 17/12/2020.
102. He, M., Hu, Y., Chen, N., Wang, D., Huang, J., Stamnes, K. 2019, « High cloud coverage over melted areas dominates the impact of clouds on the albedo feedback in the Arctic. », in *Scientific report*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-44155-w>. 03/12/2020.
103. Heede, R. 2020, « Carbon major. », in *Climate Accountability Institute*, en ligne. <https://climateaccountability.org/carbonmajors.html>. 20/12/2020.
104. Herman-Mercer, N.M., Schuster, P.F. 2014, « Strategic Needs of Water on the Yukon: An Interdisciplinary Approach to Studying Hydrology and Climate Change in the Lower Yukon River Basin. », en ligne, 4 pages. <https://pubs.usgs.gov/fs/2014/3060/pdf/fs2014-3060.pdf>. 14/12/2020.
105. Herrmann, V. 2016, « Coastal erosion and thawing permafrost: a dangerous duo. », in *High north news*, en ligne. <https://www.highnorthnews.com/en/coastal-erosion-and-thawing-permafrost-dangerous-duo>. 29/10/2020.
106. Herz, N. 2019, « Alaska GOP Gov. Dunleavy disbands state climate response team. », in *Alaska Public Media*, en ligne. <https://www.alaskapublic.org/2019/02/23/alaska-gop-gov-dunleavy-disbands-state-climate-response-team/>. 13/12/2020.
107. Herz, N. 2020, « Alyeska imposes 10% cut to North Slope production as COVID-19 hammers oil demand. », in *KTOO*, en ligne. <https://www.ktoo.org/2020/04/26/alyeska-imposes-10-cut-to-north-slope-production-as-covid-19-hammers-oil-demand/>. 04/12/2020.
108. Herz, N. 2020, « As Arctic warming accelerates, permafrost thaw hits Red Dog mine with \$20 millions bill. », in *Alaska Public Media*, en ligne. <https://www.alaskapublic.org/2020/09/01/as-arctic-warming-accelerates-permafrost-thaw-hits-red-dog-mine-with-20-million-bill/>. 9/12/2020.
109. Herz, N. 2020, « On warming North Slope, one flood response last year cost pipeline operator \$10 million. », in *Alaska Public Media*, en ligne. <https://www.alaskapublic.org/2020/02/03/on-a-warming-north-slope-a-spring-flood-did-10-million-in-damage-to-the-trans-alaska-pipeline/>. 9/12/2020.
110. Higman, B., Shugar, D.H., Stark, C.P., Ekstöm, G., Koppes, M.N., Lynett, P., Dufresne, A., Haeussler, P.J., Geertsema, M., Gulick, S., Mattox, A., Venditti, J.G., Walton, M.L., McCall, N., McKittrick, E., MacInnes, B., Bilderback, E.L., Tang, H., Willis, M.J., Richmond, B., Reece, R.S., Larsen, C., Olson, B., Capra, J., Ayca, A., Bloom, C., Williams, H., Bonno, D., Weiss, R., Keen, A., Skanavis, V., Loso, M. 2018, « The 2015 landslide and tsunami in Taan Fiord, Alaska. », in *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41598-018-30475-w>. 18/10/2020.
111. Hjort, J., Karjalainen, O., Aalto, J., Westermann, S., Romanovsky, V.E., Nelson, F.E., Eitzelmüller, B., Luoto, M. 2018, « Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century. », en ligne, 9 pages. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-07557-4.pdf>. 10/12/2020.
112. Holpuch, A. 2016, « Alaskan village threatened by rising sea levels votes for costly relocation. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/us-news/2016/aug/18/alaska-shishmaref-vote-move-coastal-erosion-rising-sea-levels>. 11/12/2020.
113. Hope, M. 2018, « 'Our Rivers are Black with Coal' — living with Siberia's mines. », in *Ecologist*, en ligne. <https://theecologist.org/2018/may/29/coal-mines-siberia-are-hurting-indigenous-communities>. 27/12/2020.
114. Hopkinson, C., Chasmer, L., Flade, L., Okhrimenko, M., Quinton, W., Castilla, G. 2019, « Permafrost Loss, Forest Succession and Mortality Influences on NDVI Greening and Browning Trends in a Taiga Plains Watershed », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/342787837_Permafrost_Loss_Forest_Succession_and

- [Mortality Influences on NDVI Greening and Browning Trends in a Taiga Plains Watershed](#). 26/20/2020.
115. Hueffer, K., Drown, D., Romanovsky, V.E., Hennessy, T. 2020, « Factors Contributing to Anthrax Outbreaks in the Circumpolar North. », in *Springer*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10393-020-01474-z?shared-article-renderer>. 03/12/2020.
 116. Hughes, Z. 2019, « Alaska university system braces for ‘devastating’ budget cuts. », in *The Washington Post*, en ligne. <https://www.washingtonpost.com/education/2019/07/01/alaska-university-system-braces-devastating-budget-cuts/>. 13/12/2020.
 117. IEA. 2020, « CO₂ Emissions from fuel combustion. », in *IEA Atlas of Energy*, en ligne. <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/1378539487>. 28/12/2020.
 118. In't Zandt, M.H., Liebner, S., Welte, C.U. 2020, « Roles of thermokarst lakes in a warming world. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966842X20300913>. 20/10/2020.
 119. International Permafrost Association. 2020, « IPA Permafrost map. », in *International Permafrost Association*, en ligne. <https://ipa.arcticportal.org/products/gtn-p/ipa-permafrost-map>. 24/12/2020.
 120. International Permafrost Association. 2020, « What is permafrost. », in *International Permafrost Association*, en ligne. <https://ipa.arcticportal.org/products/gtn-p/ipa-permafrost-map>. 24/12/2020.
 121. IPCC. 2018, « Global warming of 1.5°C. », en ligne, 630 pages. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf. 28/12/2020.
 122. IPCC. 2019, « Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. », en ligne, 35 pages. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf. 25/10/2020.
 123. Jones, B., Grosse, G., Arp, C.D., Jones, M.C., Anthony, K.W., Romanovsky, V.E. 2011, « Modern thermokarst lake dynamics in the continuous permafrost zone, northern Seward Peninsula, Alaska. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/230174888_Modern_Thermokarst_Lake_Dynamics_in_the_Continuous_Permafrost_Zone_Northern_Seward_Peninsula_Alaska. 20/10/2020.
 124. Jones, B.M., Tape, K.D., Clark, J.A., Nitze, I., Grosse, G., Disbrow, J. 2020, « Increase in beaver dams controls surface water and thermokarst dynamics in an Arctic tundra region, Baldwin Peninsula, northwestern Alaska. », in *IOP science*, en ligne. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab80f1>. 21/10/2020.
 125. King, E. 2016, « In pictures: Russian weather station on the edge of melting permafrost. », in *Climate Home News*, en ligne. <https://www.climatechangenews.com/2016/08/11/in-pictures-russian-weather-station-on-the-edge-of-melting-permafrost/>. 29/12/2020.
 126. Knoema. 2020, « Alaska - Annual fossil-fuel CO₂ emitted. », in *Knoema*, en ligne. <https://knoema.com/atlas/United-States-of-America/Alaska/CO2-emissions>. 6/12/2020.
 127. Komarov, V.S., Matvienko, G.G., Il'in, S.N., Lomakina, N.Y. 2015, « Estimate of local features of long-term variations in cloud cover over the territory of Siberia using results of its climatic zoning according to total and low-level cloud regimes. », in *Springer*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1134/S1024856015030082>. 03/12/2020.
 128. Kramer, A.E. 2016, « In Siberia, a ‘Blood River’ in a Dead Zone Twice the Size of Rhode Island. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2016/09/09/world/europe/russia-red-river-siberia-norilsk-nickel.html>. 19/12/2020.
 129. Kulp, S.A., Strauss, B.H. 2020, « New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. », in *nature communications*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41467-019-12808-z>. 30/10/2020.
 130. Labe, Z. 2020, « Arctic Sea Ice Figures. », in *Zachary Labe*, en ligne. <https://sites.uci.edu/zlabe/arctic-sea-ice-figures/>. 29/10/2020.

131. Law, T. 2019, « About 2.5 Million Acres in Alaska Have Burned. The State's Wildfire Seasons Are Getting Worse, Experts Say. », in *Time*, en ligne. <https://time.com/5657188/alaska-fires-long-climate-change/>. 16/12/2020.
132. LCLUC. 2020, « Boreal deforestation of Far Eastern Siberia. », in *Nasa-LCLUC*, en ligne. <https://lcluc.umd.edu/hotspot/boreal-deforestation-far-eastern-siberia>. 24/12/2020.
133. Lee, J. 2020, « Arctic Oil Infrastructure Faces Climate Karma. », in *Bloomberg Opinion*, en ligne. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2020-07-05/siberia-heatwave-climate-change-really-is-big-oil-industry-risk>. 15/12/2020.
134. Legendre, M., Bartoli, J., Shmakova, L., Jeudy, S., Labadie, K., Adrait, A., Lescot, M., Poirot, O., Bertaux, L., Bruley, C., Couté, Y., Rivkina, E., Abergel, C., Claverie, J.-M. 2014, « Thirty-thousand-year-old distant relative of giant icosahedral DNA viruses with a pandoravirus morphology. », in *PNAS*, en ligne. <https://www.pnas.org/content/111/11/4274>. 02/12/2020.
135. Leslie, J. 2019, « Alaska had its hottest month on record in July. », in *NOAA*, en ligne. <https://www.noaa.gov/news/alaska-had-its-hottest-month-on-record-in-july>. 22/10/2020.
136. Letterly, A. 2018, « Permafrost and Frozen Ground Assessments. », in *Global Cryosphere watch*, en ligne. <https://globalcryospherewatch.org/assessments/permafrost/>. 22/10/2020.
137. Lindsey, R., Dahlman, L. 2020, « Climate Change: Global Temperature. », in *Climate.gov*, en ligne. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>. 28/12/2020.
138. Lindsey, R., Scott, M. 2020, « Climate change: Arctic sea ice summer minimum. », in *Climate.gov*, en ligne. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-minimum-arctic-sea-ice-extent>. 24/10/2020.
139. Lopez, N 2020, « Copernicus reveals summer 2020's Arctic wildfires set new emission records. », in *Copernicus*, en ligne. <https://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-reveals-summer-2020s-arctic-wildfires-set-new-emission-records>. 27/10/2020.
140. Los Alamos national Laboratory. 2018, « Arctic greening thaw permafrost, boosts runoff. », in *Phys.org*, en ligne. <https://phys.org/news/2018-10-arctic-greening-permafrost-boosts-runoff.html>. 04/11/2020.
141. Luhn, A. 2016, « Slow-motion wrecks: how thawing permafrost is destroying Arctic cities. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/cities/2016/oct/14/thawing-permafrost-destroying-arctic-cities-norilsk-russia>. 24/12/2020.
142. Macfarquhar, N. 2019, « Floods, landsinks and woolly mammoths: how global warming is transforming Siberia. », in *Independent*, en ligne. https://www.independent.co.uk/news/long_reads/science-and-technology/global-warming-crisis-siberia-permafrost-melting-woolly-mammoths-flood-a9043771.html. 22/12/2020.
143. MacFarquhar, N. 2019, « Russian Land of Permafrost and Mammoths Is Thawing. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2019/08/04/world/europe/russia-siberia-yakutia-permafrost-global-warming.html>. 25/12/2020.
144. Main, D. 2020, « The risky plan to haul minerals from a mine in the Alaska wilderness. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/01/risky-plan-to-haul-minerals-from-mine-in-alaskan-wilderness/>. 7/12/2020.
145. Map_fanatic. 2019, « Road map of Russia. », in *Instagram*, en ligne. https://www.instagram.com/p/Bz_CNANIaP0/. 29/12/2020.
146. Marchenko, S., Etzelmüller, B. 2013, « Permafrost: formation and distribution, thermal and mechanical properties. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/281241936_815_Permafrost_Formation_and_Distribution_Thermal_and_Mechanical_Properties. 03/11/2020.
147. Mayer, N. 2020, « La fonte du permafrost met en danger le climat de toute la planète. », in *Futura planète*, en ligne. <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/rechauffement-climatique-fonte-permafrost-met-danger-climat-toute-planete-43336/>. 05/11/2020.
148. McDowell Group. 2018, « The economic benefits of Alaska's mining industry. », en ligne, 3 pages. https://www.mcdowellgroup.net/wp-content/uploads/2018/06/miningsummaryonline4_9.pdf. 15/12/2020.

149. McDowell Group. 2020, « Alaska visitor volume report winter 2018-19 and Summer 2019. », en ligne, 16 pages. https://www.alaskatia.org/wp-content/uploads/Alaska-Visitor-Volume-2018-19-FINAL-7_1_20.pdf. 20/12/2020.
150. McGee, R. 2018, « Russia's Arctic Development: Problems and Priorities. », in *Geohistory*, en ligne. <https://geohistory.today/russia-arctic-development-power/>. 21/12/2020.
151. Melillo, J.M., Richmond, T., Yohe, G.W. 2014, « Climate change impacts in the United States. », en ligne, 841 pages. http://s3.amazonaws.com/nca2014/high/NCA3_Climate_Change_Impacts_in_the_United%20States_HighRes.pdf. 21/10/2020.
152. Melvin, A.M., Larsen, P., Bouhlert, B., Neumann, J.E., Chinowsky, P., Espinet, X., Martinich, J., Baumann, M.S., Rennels, L., Bothner, A., Nicolisky, D.J., Marchenko, S.S. 2016, « Climate change damages to Alaska public infrastructure and the economics of proactive adaptation. », en ligne, 10 pages. <https://www.pnas.org/content/pnas/114/2/E122.full.pdf>. 9/12/2020.
153. Metcalfe, D.B., Hermans, T.D.G., Ahlstrand, J., Becker, M., Berggren, M., Björk, R.G., Björkman, M.P., Blok, D., Chaudhary, N., Chisholm, C., Classen, A.T., Hasselquist, N.J., Jonsson, M., Kristensen, J.A., Kumordzi, B.B., Lee, H., Mayor, J.R., Prev y, J., Pantazatou, K., Rousk, J., Sponseller, R.A., Sundqvist, M.K., Tang, J., Uddling, J., Wallin, G., Zhang, W., Ahlstr m, A., Tenenbaum, D.E., Abdi, A.M. 2018. « Patchy field sampling biases understanding of climate change impacts across the Arctic. », in *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41559-018-0612-5>. 25/12/2020.
154. Michaud, D. 2013, « 10 insane Russian mines. », in *911 metallurgist*, en ligne. <https://www.911metallurgist.com/blog/10-insane-russian-mines>. 17/12/2020.
155. Mitscherling, J., Winkel, M., Winterfeld, M., Horn, F., Yang, S., Grigoriev, M.N., Wagner, D., Overduin, P.P., Liebner, S. 2017, « The development of permafrost bacterial communities under submarine conditions. », in *AGU*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017JG003859>. 01/12/2020.
156. Montlake, B. 2019, « Alaska's climate frontier: Anchorage to cut carbon emissions by 80%. », in *The Christian science monitor*, en ligne. <https://www.csmonitor.com/Environment/2019/0603/Alaska-s-climate-frontier-Anchorage-to-cut-carbon-emissions-by-80>. 12/12/2020.
157. Mudde, C. 2019, « Alaska's governor is trying to destroy its universities. The state may never recover. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/commentisfree/2019/jul/06/mike-dunleavy-alaska-university-system-budget-cuts> 13/12/2020.
158. Mullaney, T. 2020, « Trump rushes to lock down oil drilling in Alaska's Arctic National Wildlife Refuge before Biden takes office. », in *CNBC*, en ligne. <https://www.cnn.com/2020/12/04/trump-rushes-drilling-in-arctic-wildlife-reserve-before-biden-takes-office.html>. 04/12/2020.
159. NASA. 2020, « Fire and ice in Greenland. », in *earth observatory*, en ligne. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/90709/fire-and-ice-in-greenland>. 20/10/2020.
160. NASA. 2020, « Scientific Consensus: Earth's Climate is Warming. », in *NASA*, en ligne. <https://climate.nasa.gov/scientific-consensus/>. 28/12/2020.
161. Natali, S.M., Watts, J.D., Rogers, B.M., Potter, S., Ludwig, S.M., Selbmann, A.-K., Sullivan, P.F., Abbott, B.W., Arndt, K.A., Birch, L., Björkman, M.P., Bloom, A.A., Celis, G., Christensen, T.R., Christiansen, C.T., Commane, R., Cooper, E.J., Crill, P., Czimeczik, C., Davydov, S., Du, J., Egan, J.E., Elberling, B., Euskirchen, E.S., Friborg, T., Genet, H., G ckede, M., Goodrich, J.P., Grogan, P., Helbig, M., Jafarov, E.E., Jastrow, J.D., Kalhori, A.A.M., Kim, Y., Kimball, J.S., Kutzbach, L., Lara, M.J., Larsen, K.S., Lee, B.-Y., Liu, Z., Lorant, M.M., Lund, M., Lupascu, M., Madani, N., Malhotra, A., Matamala, R., McFarland, J., McGuire, A.D., Michelsen, A., Minions, C., Oechel, W.C., Olefeldt, D., Parmentier, F.-J.W., Pirk, N., Poulter, B., Quinton, W., Rezanezhad, F., Risk, D., Sachs, T., Schaefer, K., Schmidt, N.M., Schuur, E.A.G., Semenchuk, P.R., Shaver, G., Sonntag, O., Starr, G., Treat, C.C., Waldrop, M.P., Wang, Y., Welker, J., Wille, C., Xu, X., Zhang, Z., Zhuang, Q., Zona, D. 2019, « Large loss of CO₂ in winter observed across the northern permafrost region. », in *Nature climate change*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0592-8>. 29/10/2020.

162. Nechepurenko, I. 2020, « Russia Declares Emergency After Arctic Oil Spill. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2020/06/04/world/europe/russia-oil-spill-arctic.html>. 17/12/2020.
163. Nelson, J., Schuchard, R. 2015, « Adapting to Climate Change: A guide for the Mining Industry. », en ligne, 10 pages. https://www.bsr.org/reports/BSR_Climate_Adaptation_Issue_Brief_Mining.pdf. 23/12/2020.
164. NGFS. 2019, « Origin and Purpose. », in *NGFS*, en ligne. <https://www.ngfs.net/en/about-us/governance/origin-and-purpose>. 27/12/2020.
165. NIOSH. 2011, « Coal Mine Dust Exposures and Associated Health Outcomes. », en ligne, 56 pages. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-172/pdfs/2011-172.pdf>. 18/12/2020.
166. NOAA fisheries. 2020, « Alaska. », in *NOAA Fisheries*, en ligne. <https://www.fisheries.noaa.gov/region/alaska>. 19/10/2020.
167. NOAA. 2020, « New study suggests climate models may underestimate rate of melting. », in *NOAA*, en ligne. <https://www.ncei.noaa.gov/news/arctic-ice-study>. 24/10/2020.
168. NOAA. 2020, « Office of response and restoration. », in *NOAA*, en ligne. <https://response.restoration.noaa.gov>. 9/12/2020.
169. Nornickel. 2020, « Why invest in Nornickel. », in *Nornickel*, en ligne. <https://www.nornickel.com/investors/key-facts/>. 26/12/2020.
170. NRDC. 2020, « Protect the Arctic National Wildlife Refuge. », in *NRDC*, en ligne. <https://www.nrdc.org/protect-arctic-national-wildlife-refuge>. 12/12/2020.
171. NSIDC. 2020, « Animals and frozen ground. », in *National Snow & Ice Data Center*, en ligne. <https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/animals.html>. 26/10/2020.
172. NSIDC. 2020, « Climate and frozen grounds. », in *National Snow & Ice Data Center*, en ligne. <https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/climate.html>. 27/10/2020.
173. NSIDC. 2020, « Climate change in the Arctic. », in *National Snow & Ice Data Center*, en ligne. https://nsidc.org/cryosphere/arctic-meteorology/climate_change.html. 28/10/2020.
174. NSIDC. 2020, « Cryosphere glossary », in *NSIDC*, en ligne. <https://nsidc.org/cryosphere/glossary/T?keys=&page=1>. 03/12/2020.
175. NSIDC. 2020, « Laptev sea lapping up the heat in June », in *NSIDC*, en ligne. <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2020/07/laptev-sea-lapping-up-the-heat-in-june/>. 29/10/2020.
176. NSIDC. 2020, « Lingering seashore days. », in *NSIDC*, en ligne. <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2020/10/lingering-seashore-days/>. 30/10/2020.
177. NSIDC. 2020, « Ocean waves in November - in the Arctic. », in *NSIDC*, en ligne. <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2020/>. 30/10/2020.
178. NSIDC. 2020, « Quick facts on Arctic sea ice. », in *National Snow & Ice Data Center*, en ligne. <https://nsidc.org/cryosphere/quickfacts/seaice.html>. 27/10/2020.
179. NSIDC. 2020, « Sea ice index animation tool », in *National Snow & Ice Data Center*, en ligne. https://nsidc.org/data/seaice_index/archives/image_select. 07/11/2020.
180. NSIDC. 2020, « Where is frozen ground? », in *National Snow & Ice Data Center*, en ligne. https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/whereis_fg.html. 27/10/2020.
181. Obu, J., Westermann, S., Bartsch, A., Berdnikov, N., Christiansen, H.H., Dashtseren, A., Delaloye, R., Elberling, B., Etzelmüller, B., Kholodov, A., Khomutov, A., Kääb, A., Leibman, M.O., Lewkowicz, A.G., Panda, S.K., Romanovsky, V.E., Way, R.G., Westergaard-Nielsen, A., Wu, T., Yamkhin, J., Zou, D. 2019, « Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000–2016 at 1 km² scale. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825218305907>. 02/12/2020.
182. OCGI. 2020, « A catalyst for change. », in *OCGI*, en ligne. <https://oilandgasclimateinitiative.com/about-us/>. 13/12/2020.
183. Paramonova, N. 2015, « The cost of coal. », en ligne, 16 pages. <https://ecdru.files.wordpress.com/2015/12/russian-coal.pdf>. 19/12/2020.
184. Peng, X., Zhang, T., Frauenfeld, O.W., Wang, S., Qiao, L., Du, R., Mu, C. 2019, « Northern hemisphere greening in association with warming permafrost. », in *AGU*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019JG005086>. 06/10/2020.
185. Perkins, L. 2020, « Global Temperature Anomalies from 1880 to 2019. », in *Nasa Scientific Visualisation studio*, en ligne. <https://svs.gsfc.nasa.gov/4787>. 04/12/2020.

186. Petrenko, V.V., Etheridge, D.M., Weiss, R.F., Brook, E.J., Schaefer, H., Severinghaus, J.P., Smith, A.M., Hua, Q., Riedel, K. 2010, « Methane from the East Siberian Arctic Shelf. », in *Science*, en ligne. <https://science.sciencemag.org/content/329/5996/1146.2>. 02/12/2020.
187. Petrova, E. 2020, « Natural hazard impacts on transport infrastructure in Russia. », in *NHESS*, en ligne. <https://nhess.copernicus.org/articles/20/1969/2020/>. 21/12/2020.
188. Péwé, T. L. 2018, « Permafrost. », in *Britannica*, en ligne. <https://www.britannica.com/science/permafrost#ref65724>. 24/10/2020.
189. Phoenix, G.K., Bjerke, J.W. 2016, « Arctic browning: extreme events and trends reversing arctic greening. », in *Wiley Online Library*, en Ligne. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.13261>. 07/11/2020.
190. Pigni, G. 2017, « In Russia's coal country. », in *Eurozine*, en ligne. <https://www.eurozine.com/in-russias-coal-country/>. 19/12/2020.
191. Plumer, B., Fountain, H. 2020, « Trump Administration Finalizes Plan to Open Arctic Refuge to Drilling. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2020/08/17/climate/alaska-oil-drilling-anwr.html?smid=tw-nytimes&smtyp=cur>. 12/12/2020.
192. Priemé, A., 2020, « Fast facts about permafrost. », in *University of copenhagen*, en ligne. <https://cenperm.ku.dk/facts-about-permafrost/>. 26/10/2020.
193. Proshutinsky, A., Ashik, I., Dvorkin, E.N., Hakkinen, S., Krishfield, R.A., Peltier, W.R. 2004, « Secular sea level change in the Russian sector of the Arctic Ocean. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/44296199_Secular_sea_level_change_in_the_Russian_sector_of_the_Arctic_Ocean. 02/12/2020.
194. Quinn, G. 2016, « Climate Change Is Hell on Alaska's Formerly Frozen Highways. », in *Bloomberg*, en ligne. <https://www.bloomberg.com/news/features/2016-08-02/the-alaskan-highway-is-literally-melting>. 10/12/2020.
195. Ramsayer, K. 2020, « 2020 Arctic sea ice minimum at second lowest on record. », in *NASA*, en ligne. <https://climate.nasa.gov/news/3023/2020-arctic-sea-ice-minimum-at-second-lowest-on-record/>. 23/10/2020.
196. Ray, M. 2014, « Trans-Alaska Pipeline. », in *Britannica*, en ligne. <https://www.britannica.com/topic/Trans-Alaska-Pipeline>. 7/12/2020.
197. Reimnitz, E., Dethleff, D., Nürnberg, D. 1994, « Contrasts in Arctic shelf sea-ice regimes and some implications: Beaufort Sea versus Laptev Sea. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0025322794901821>. 30/10/2020.
198. Resource development council. 2020, « Alaska's mining industry. », in *Resource development council*, en ligne. <https://www.akrdc.org/mining>. 19/10/2020.
199. Resource Development Council. 2020, « Alaska's tourism industry. », in *Resource Development Council*, en ligne. <https://www.akrdc.org/tourism>. 5/12/2020.
200. Reuters. 2019, « Scientists shocked by Arctic permafrost thawing 70 years sooner than predicted. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/environment/2019/jun/18/arctic-permafrost-canada-science-climate-crisis>. 28/12/2020.
201. Richards, R. 2019, « Trump's Energy Policies Put Alaska in the Climate Crosshairs. », in *Center for American Progress*, en ligne. <https://www.americanprogress.org/issues/green/news/2019/11/20/477495/trumps-energy-policies-put-alaska-climate-crosshairs/>. 12/12/2020.
202. Richter-Menge, J., M. L. Druckenmiller, and M. Jeffries, Eds. 2019, « Arctic Report Card 2019. », in *National Oceanic and Atmospheric Administration*, en ligne. https://www.arctic.noaa.gov/Portals/7/ArcticReportCard/Documents/ArcticReportCard_full_report2019.pdf. 16/10/2020.
203. Rohde, R. 2020, « October 2020 temperature update. », in *Berkeley Earth*, en ligne. <http://berkeleyearth.org/october-2020-temperature-update/>. 30/10/2020.
204. Rosneft. 2020, « Environnement. », in *Rosneft*, en ligne. https://www.rosneft.com/Development/Ecology_labor_protection_and_industrial/Environmentalsafety/. 25/12/2020.

205. Ross, K. 2020, « Russia's Proposed Climate Plan Means Higher Emissions Through 2050. », in *World Resources Institute*, en ligne. <https://www.wri.org/blog/2020/04/russia-s-proposed-climate-plan-means-higher-emissions-through-2050>. 27/12/2020.
206. RT. 2018, « Russian Arctic sea route shipping more than quadruples in 5 years. », in *RT*, en ligne. <https://www.rt.com/business/442609-arctic-route-shipping-million-tons/>. 21/12/2020.
207. Sauer, N. 2019, « The fight for the world's largest forest. », in *Climate home news*, en ligne. <https://www.climatechangenews.com/2019/10/08/siberia-illegal-logging-feeds-chinas-factories-one-woman-fights-back/>. 24/12/2020.
208. Schädel, C. 2020, « Guest post: The irreversible emissions of a permafrost 'tipping point'. », in *CarbonBrief*, en ligne. <https://www.carbonbrief.org/guest-post-the-irreversible-emissions-of-a-permafrost-tipping-point>. 15/12/2020.
209. Schreiber, M. 2020, « The massive Norilsk fuel spill could be linked to permafrost thaw, a growing threat to Arctic infrastructure. », in *ArcticToday*, en ligne. <https://www.arctictoday.com/the-massive-norilsk-fuel-spill-could-be-linked-to-permafrost-thaw-a-growing-threat-to-arctic-infrastructure/>. 26/12/2020.
210. Schuur, E.A.G., McGuire, A.D., Schädel, C., Grosse, G., Harden, J.W., Hayes, D.J., Hugelius, G., Koven, C.D., Kuhry, P., Lawrence, D.M. 2015 « Climate change and the permafrost carbon feedback. », in *Nature*, en ligne. <https://www-nature-com.ezproxy.ulb.ac.be/articles/nature14338>. 27/10/2020.
211. Science Daily. 2020, « Past evidence supports complete loss of Arctic sea-ice by 2035. », in *Science Daily*, en ligne. <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/08/200810113216.htm>. 24/10/2020.
212. Shakhova, N., Semiletov, I., Gustafsson, O., Sergienko, V., Lobkovsky, L., Dudarev, O., Tumskey, V., Grigoriev, M., Mazurov, A., Salyuk, A., Ananiev, R., Koshurniko, A., Kosmach, D., Charkin, A., Dmitrevsky, N., Karnaukh, V., Gunar, A., Meluzov, A., Chernykh, D. 2017, « Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf. », in *Nature Communications*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/ncomms15872>. 29/10/2020.
213. Shakhova, N., Semiletov, I., Leifer, I., Salyuk, A., Rekant, P., Kosmach, D. 2010, « Geochemical and geophysical evidence of methane release over the East Siberian Arctic Shelf. », in *AGU*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2009JC005602>. 01/12/2020.
214. Shakhova, N.E., Alekseev, V.A., Semiletov, I.P. 2010, « Predicted methane emission on the East Siberian shelf », in *Springer*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1134/S1028334X10020091>. 01/12/2020.
215. Sheppard, K. 2017, « As The Planet Warms, A Remote Alaskan Town Shows Just How Unprepared We Are. », in *Huffpost*, en ligne. https://www.huffpost.com/entry/shishmaref-alaska-climate-change-relocation_n_6296516?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuYmluZy5jb20v&guce_referrer_sig=AQAAABHsCtSZBmYxS8q19-ZMUbEOblQT7m0FWS1sQ5fbBH8d3MrdDyYzbZYo2WsENJqr-JBsTcstYMuKRk-lotBm2KJuAyFySmSShF9Ctpk3WHQY266Vp2y77TrxzQswslcPmipJ8rr5MfMt_gzM-jlwWbeCfLEahtMyHLeMb99HL8b. 28/12/2020.
216. Sherval, M. 2013, « Arctic Alaska's role in future United States energy independence. », in *Researchgate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/263144085_Arctic_Alaska's_role_in_future_United_States_energy_independence. 15/12/2020.
217. Shugar, D.H., Burr, A., Haritashya, U.K., Kargel, J.S., Watson, C.S., Kennedy M.C., Bevington, A.R., Betts, R.A., Harrison, S., Stratman, K. 2020, « Rapid worldwide growth of glacial lakes since 1990. », in *Nature climate change*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0855-4>. 19/10/2020.
218. Shvetsov, S. 2020, « Information Letter on Recommendations for the Implementation of the Principles of Responsible Investment. », en ligne, 11 pages. https://www.cbr.ru/content/document/file/112325/in-06-28_111_e.pdf. 26/12/2020.

219. Sirucek, S. 2014, « Ancient "Giant Virus" Revived from Siberian Permafrost. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/news/2014/3/140303-giant-virus-permafrost-siberia-pithovirus-pandoravirus-science/>. 03/12/2020.
220. SMHI. 2020, « Road and river transport in East Siberia. », in *Copernicus*, en ligne. <https://climate.copernicus.eu/road-and-river-transport-east-siberia>. 20/12/2020.
221. Sobczak, B. 2013, « Thawing permafrost jeopardizes massive maze of Russian pipelines. », in *E&E News*, en ligne. <https://www.eenews.net/stories/1059975505>. 23/12/2020.
222. Solomon, C. 2018, « Alaska Wants to Build a Second 800-Mile Pipeline. », in *Outside*, en ligne. <https://www.outsideonline.com/2309006/alaska-wants-build-second-800-mile-pipeline>. 8/12/2020.
223. Soric, M. 2019, « Russia's forests threatened by illegal logging. », in *Made for minds*, en ligne. <https://www.dw.com/en/russias-forests-threatened-by-illegal-logging/a-48060208>. 24/12/2020.
224. Staalesen, A. 2020, « A record early ice break-up in great river Yenisey tells story about dramatic change. », in *The Barents Observer*, en ligne. <https://thebarentsobserver.com/en/arctic-ecology/2020/05/record-early-ice-break-great-river-yenisey-tells-story-about-dramatic-arctic>. 22/12/2020.
225. Stewart, A.G. 2020, « Mining is bad for health: a voyage of discovery. », in *Springer*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-019-00367-7>. 7/12/2020.
226. Stewart, B.C., Kunkel, K.E., Champion, S., Frankson, R., Stevens, L., Wendler, G. 2017, « Alaska. », en ligne, 5 pages. <https://statesummaries.ncics.org/downloads/AK-screen-hi.pdf>. 19/10/2020.
227. Stone, E. 2020, « Alaskans react to Trump Administration's Roadless Rule rollback in the Tongass. », in *Alaska Public Media*, en ligne. <https://www.alaskapublic.org/2020/10/28/alaskans-react-to-trump-administrations-roadless-rule-rollback-in-the-tongass/>. 12/12/2020.
228. Stone, M. 2020, « A heat wave thawed Siberia's tundra. Now, it's on fire. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/07/heat-wave-thawed-siberia-now-on-fire/>. 01/11/2020.
229. Strambo, C. 2016, « An Arctic mining town faces the monocity dilemma. », in *Stockholm Environment Institute*, en ligne. <https://www.sei.org/perspectives/arctic-town-faces-monocity-dilemma/>. 18/12/2020.
230. Strauss, J., Schirrmeister, L., Grosse, G., Fortier, D., Hugelius, G., Knoblauch, C., Romanovsky, V.E., Schädel, C., Scheider von Deimling, T., Schuur, E.A.G., Shmelev, D., Ulrich, M., Veremeeva, A. 2017, « Deep Yedoma permafrost: A synthesis of depositional characteristics and carbon vulnerability. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825217300508>. 29/10/2020.
231. Streletskiy, D.A., Suter, L.J., Shiklomanov, N.I., Porfiriev, B.N., Eliseev, D.O. 2019, « Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost. », en ligne, 16 pages. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aaf5e6/pdf>. 27/12/2020.
232. Sulisz, W., Paprota, M., Szmytkiewicz, M., Majewski, D. 2017, « Effect of water waves on the erosion of permafrost », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/320245433_Effect_of_water_waves_on_the_erosion_of_permafrost. 23/10/2020.
233. TASS. 2020, « Diesel fuel spill in Norilsk in Russia's Arctic contained. », in *TASS*, en ligne. <https://tass.com/emergencies/1164423>. 26/12/2020.
234. Teck Alaska Incorporated. 2020, « Reverse osmosis treatment plant start up. », en ligne, 1 page. <https://www.alaskapublic.org/wp-content/uploads/2020/08/RO-Anouncement.pdf>. 9/12/2020.
235. Teck. 2020, « Teck Announces Goal of Carbon Neutrality by 2050. », en ligne 2 pages. <https://www.teck.com/media/20-8-TR.pdf>. 12/12/2020.
236. The climate reality project. 2020, « How is the climate crisis affecting Alaska. », in *The climate reality project*, en ligne. <https://climaterealityproject.org/blog/how-climate-crisis-affecting-alaska>. 19/10/2020.
237. The Moscow Times. 2019, « Russia Rejects Climate Change Plan After Business Uproar. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2019/10/17/russia-rejects-climate-change-plan-after-business-uproar-a67780>. 25/12/2020.

238. The Moscow Times. 2019, « Russia's Climate Policy Among World's Worst, Study Says. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2019/12/11/russias-climate-change-policy-among-worlds-worst-study-says-a68564>. 25/12/2020.
239. The Siberian Times reporter. 2017, « Gas pipelines supplying Europe 'in real danger from exploding tundra' - top scientist. », in *The Siberian Times*, en ligne. <http://siberiantimes.com/other/others/news/gas-pipelines-supplying-europe-in-real-danger-from-exploding-tundra-top-scientist/>. 04/12/2020.
240. The Siberian Times. 2019, « Eerie black snow falls over Siberian region triggering acute pollution concerns from locals. », in *The Siberian Times*, en ligne. <https://siberiantimes.com/other/others/news/eerie-black-snow-falls-over-siberian-region-triggering-acute-pollution-concerns-from-locals/>. 18/12/2020.
241. The university of Edinburgh. 2019, « Can plants help to prevent permafrost thaw? », in *The university of Edinburgh*, en ligne. <https://www.ed.ac.uk/sustainability/what-we-do/climate-change/case-studies/climate-research/can-plants-prevent-permafrost-thaw>. 30/10/2020.
242. Thoman, R., Walsh, J. 2019, « Alaska's changing environment. », in *University of Alaska Fairbanks/ international arctic research center*, en ligne. <https://uaf-iarc.org/our-work/alaskas-changing-environment/>. 18/10/2020.
243. Tracey, G., Wilson, J. 2019, « Russian Roads and Rails. », in *Geohistory*, en ligne. <https://geohistory.today/russias-developing-transport-infrastructure/>. 21/12/2020.
244. Transneft. 2020, « Company. », in *Transneft*, en ligne. <https://en.transneft.ru/about/>. 22/12/2020.
245. Transparency International. 2020, « Center for Anti-Corruption Research and Initiative Transparency International Russia. », in *Transparency International*, en ligne. <https://www.transparency.org/en/countries/russia#>. 25/12/2020.
246. Troianovski, A., Mooney, C. 2019, « Radical warming in Siberia leaves millions on unstable ground. », in *The Washington Post*, en ligne. <https://www.washingtonpost.com/graphics/2019/national/climate-environment/climate-change-siberia/>. 22/12/2020.
247. Tsyganov, V. 2019, « Development of Infrastructure in Siberia, the Far East and the Arctic zone of Russia. », in *IEEE Xplore*, en ligne. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8910968/authors#authors>. « 22/12/2020.
248. Turetsky, M.R., Abbott, B.W., Jones, M.C., Walter Anthony, K., Olefeldt, D., Schuur, E.A.G., Koven, C., McGuire, A.D., Grosse, G., Kuhry, P., Hugelius, G., Lawrence, D.M., Gibson, C. and Sannel, A.B.K. 2019, « Permafrost collapse is accelerating carbon release. », In *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/d41586-019-01313-4>. 25/10/2020.
249. Turrini, T. 2012, « The Clean Water Act: 40 Years and Still a Work in Progress. », in *National Wildlife Federation's*, en ligne. <https://blog.nwf.org/2012/10/the-clean-water-act-40-years-and-still-a-work-in-progress/>. 8/12/2020.
250. U.S. Army Corps of Engineers Alaska District, University of Alaska Fairbanks Institute of Northern Engineering, U.S. Army Corps of Engineers Cold Regions Research and Engineering Laboratory. 2019, « Statewide Threat Assessment: Identification of Threats from Erosion, Flooding, and Thawing Permafrost in Remote Alaska Communities. », en ligne, 99 pages. <https://www.denali.gov/wp-content/uploads/2019/11/Statewide-Threat-Assessment-Final-Report-November-2019-1-2.pdf>. 11/12/2020.
251. U.S. Army Public Affairs. 2020, « Army finds Pebble Mine project cannot be permitted as proposed. », in *U.S. Army*, en ligne. <https://www.army.mil/article/238426>. 12/12/2020.
252. U.S. Climate Resilience Toolkit. 2016, « Decreasing ice = increasing activity. », in *U.S. Climate Resilience Toolkit*, en ligne. <https://toolkit.climate.gov/regions/alaska-and-arctic/arctic-development-and-transport>. 6/12/2020.
253. U.S. Climate Resilience Toolkit. 2017, « Climate stressors and impacts. », in *U.S. Climate Resilience Toolkit*, en ligne. <https://toolkit.climate.gov/case-studies/relocating-kivalina>. 14/12/2020.
254. U.S. Climate Resilience Toolkit. 2020, « Alaskan Tribes Join Together to Assess Harmful Algal Blooms. », in *U.S. Climate Resilience Toolkit*, en ligne. <https://toolkit.climate.gov/case-studies/alaskan-tribes-join-together-assess-harmful-algal-blooms>. 14/12/2020.

255. U.S. Department of Agriculture. 2020, « USDA Exempts Tongass National Forest from the 2001 Roadless Rule. », in *U.S. Department of Agriculture*, en ligne. <https://www.usda.gov/media/press-releases/2020/10/28/usda-exempts-tongass-national-forest-2001-roadless-rule>. 12/12/2020.
256. U.S. News. 2020, « Power. », in *U.S. News*, en ligne. <https://www.usnews.com/news/best-countries/power-rankings>. 28/12/2020.
257. Union of Concerned Scientists. 2020, « Each country's share of CO₂ emissions. », in *Union of Concerned Scientists*, en ligne. <https://www.ucsusa.org/resources/each-countrys-share-co2-emissions>. 28/12/2020.
258. USGS. 2020, « Climate impacts to Arctic coasts. », in *USGS*, en ligne. https://www.usgs.gov/centers/pcm/science/climate-impacts-arctic-coasts?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. 23/10/2020.
259. Vaguet, Y. 2013, « Oil and Gas towns in Western Siberia: past, present and future challenges. », en ligne, 9 pages. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01779907v2/document>. 15/12/2020.
260. van Huissteden, J. 2020, « Thawing permafrost. », in *Springer*, en ligne. <https://www.springer.com/gp/book/9783030313784>. 30/10/2020.
261. Vizcarra, N., Marcot, B.G. 2016, « Big changes in cold places: the future of wildlife habitat in northwest Alaska. », in *U.S. Forest service*, en ligne. <https://www.fs.fed.us/pnw/science/scifi186.pdf>. 24/10/2020.
262. Voigt, C. Lamprecht, R.E., Marushchak, M.E., Lind, S.E., Novakovskiy, A., Aurela, M., Martikainen, P.J., Baisi, C. 2016 « Warming of subarctic tundra increases emissions of all three important greenhouse gases – carbon dioxide, methane, and nitrous oxide. », in *Global change biology*, en ligne. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.13563>. 21/10/2020.
263. Vonk, J.E., Tank, S.E., Bowden, W.B., Laurion, I., Vincent, W.F., Alekseychik, P., Amyot, M., Billet, M.F., Canário, J., Cory, R.M., Deshpande, B.N., Helbig, M., Jammet, M., Karlsson, J., Larouche, J., MacMillan, G., Rautio, M., Walter Anthony, K.M., Wickland, K.P. 2015, « Reviews and syntheses: Effects of permafrost thaw on Arctic aquatic ecosystems. », in *Researchgate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/303609077_Reviews_and_syntheses_Effects_of_permafrost_thaw_on_Arctic_aquatic_ecosystems. 03/11/2020.
264. Walker, B. 2017, « Administrative Order No. 289. », in *The great state of Alaska*, en ligne. <https://gov.alaska.gov/admin-orders/administrative-order-no-289/>. 13/12/2020.
265. Walsh, M.G., de Smalen, A.W., Mor, S.M. 2018, « Climatic influence on anthrax suitability in warming northern latitudes. », in *National Library of Medicine*, en ligne. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29915251/>. 03/12/2020.
266. Walter Anthony, K., Schneider von Deimling, T., Nitze, I., Frolking, S., Emond, A., Daanen, R., Anthony, P., Lindgren, P., Jones, B., Grosse, G. 2018, « 21st-century modeled permafrost carbon emissions accelerated by abrupt thaw beneath lakes. », in *Nature communications*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-05738-9>. 21/10/2020.
267. Wang, C., Wang, Z., Kong, Y., Zhang, F., Yang, K., Zhang, T. 2019, « Most of the Northern Hemisphere Permafrost Remains under Climate Change. », in *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-39942-4>. 15/12/2020.
268. Welch C. 2019, « Arctic permafrost is thawing fast. That affects us all. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/08/arctic-permafrost-is-thawing-it-could-speed-up-climate-change-feature/>. 04/11/2020.
269. Wilcox, E.J., Keim, D., de Jong, T., Walker, B., Sonnentag, O., Sniderhan, A.E., Mann, P. and Marsh, P. 2019, « Tundra shrub expansion may amplify permafrost thaw by advancing snowmelt timing. », in *Canadian Science Publishing*, en ligne. <https://cdnsicepub.com/doi/10.1139/as-2018-0028>. 05/11/2020.
270. Wilkerson, J., Dobosy, R., Sayres, D.S., Healy, C., Dumas, E., Baker, B., Anderson, J.G. 2019, « Permafrost nitrous oxide emissions observed on a landscape scale using the airborne eddy-covariance method. », in *Atmospheric Chemistry and Physics*, en ligne. <https://acp.copernicus.org/articles/19/4257/2019/#section5>. 21/10/2020.
271. Witze, A. 2020, « The Arctic is burning like never before - and that's bad news for climate change. », in *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-02568-y>. 30/10/2020.

272. WMO. 2020, « Reported new record temperature of 38°C north of Arctic Circle. », in *World Meteorological Organization*, en ligne. <https://public.wmo.int/en/media/news/reported-new-record-temperature-of-38-c-north-of-arctic-circle>. 28/10/2020.
273. Woodall, T. 2020, « Rising temperatures leave Russia's Arctic ambitions on thin ice. », in *S&P Global*, en ligne. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/rising-temperatures-leave-russia-s-arctic-ambitions-on-thin-ice-59646990.29/12/2020.20/11/2020>.
274. Yeo, S.-R., Kim, K. Y., Yeh, S.W., Kim, B.-M., Shim, T., Jhun, J.-G. 2014, « Recent climate variation in the Bering and Chukchi Seas and its linkages to large-scale circulation in the Pacific. », in *Springerlink*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-013-2042-z>. 19/10/2020.
275. Бутрин, Д., Шаповалов, А. 2019, « Углеродные налоги пошли на выброс. », in *Коммерсантъ*, en ligne. <https://www.kommersant.ru/doc/4127113>. 25/12/2020.
276. Мереминская, Е. 2020, « Загрязнение воды, воздуха и земли в России замедляет рост экономики. », in *Ведоству*, en ligne. <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2020/01/12/820395-zagryaznenie-vodi-vozduha>. 20/12/2020.
277. Минэкономразвития России. 2020, « Дмитрий Медведев утвердил национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года. », in *Новости*, en ligne. <http://government.ru/news/38739/>. 26/12/2020.
278. Полякова, В. 2020, « МЧС сообщило о локализации разлива топлива в Норильске. », in *РБК*, en ligne. <https://www.rbc.ru/society/05/06/2020/5eda011b9a79470de3e34230>. 27/12/2020.
279. Пресс-служба Минприроды России (Service de presse du ministère des ressources naturelles et de l'environnement de Russie). 2019, « омплексный план «Реализация минерально-сырьевого и логистического потенциала Арктики», разработанный Минприроды России, направлен в Правительство РФ. », in *Минприроды России*, en ligne. http://mnr.gov.ru/press/news/kompleksnyy_plan_realizatsiya_mineralno_syrevogo_i_logisticheskogo_potentsiala_arktiki_razrabotannyi/. 21/12/2020.
280. Росприроднадзор. 2020, « Росприроднадзор произвел расчет ущерба экологии, нанесенный аварией в Норильске. », in *Росприроднадзор*, en ligne. https://rpn.gov.ru/news/rosprirodnadzor_proizvel_raschet_ushcherba_ekologii_nanesenny_avarie_y_v_norilske/. 16/12/2020.

Sources non citées

1. Alaska Community Action on Toxics. 2020, « Mining in Alaska. », in *Alaska Community Action on Toxics*, en ligne. https://www.akaaction.org/tackling_toxics/alaska/mining_in_alaska/. 6/12/2020.
2. Alaska Gray Line. 2019, « A brief history of transportation in Alaska, », in *Alaska Gray Line*, en ligne. <https://www.graylinealaska.com/blog/a-brief-history-of-transportation-in-alaska/>. 6/12/2020.
3. Alaska public lands information centers. 2020, « Glaciers. », in *Alaska public lands information centers*, en ligne. <https://www.alaskacenters.gov/explore/attractions/glaciers>. 16/10/2020.
4. Alaska public lands information centers. 2020, « Regions. », in *Alaska public lands information centers*, en ligne. <https://www.alaskacenters.gov/destinations/regions>. 16/10/2020.
5. Alaska public lands information centers. 2020, « Volcanoes. », in *Alaska public lands information centers*, en ligne. <https://www.alaskacenters.gov/explore/culture/nature/volcanoes>. 16/10/2020.
6. Alaska Roadless Rule Story Map. 2020, « Alaska Roadless Rulemaking Final Environmental Impact Statement. », in *Alaska Roadless Rule Story Map*, en ligne. <https://usfs.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=c765c4e1058f478baf627d7527c331df>. 12/12/2020.
7. Alaska tours. 2020, « Alaska's regions », in *Alaska tours*, en ligne. <https://alakatours.com/alaskas-regions/>. 16/10/2020.

8. Alfred Wegner Institute. 2020, « Siberia's permafrost erosion has been worsening for years. », in *ScienceDaily*, en ligne. <https://www.sciencedaily.com/releases/2020/09/200916113452.htm>. 02/12/2020.
9. Altendorf, D. 2018, « Au cours de ce siècle, d'étranges lacs pourraient accélérer la fonte du pergélisol et accélérer les rejets de méthane, puissant gaz à effet de serre. », in *SciencePost*, en ligne. <https://sciencepost.fr/au-cours-de-ce-siecle-detranges-lacs-pourraient-accelerer-la-fonte-du-pergelisol-et-acceler-les-rejets-de-methane-puissant-gaz-a-effet-de-serre/>. 01/11/2020.
10. America's Oil and Natural Gas Industry. 2016, « Alaska - A state of energy. », en ligne, 14 pages. <https://www.api.org/~media/files/oil-and-natural-gas/alaska-state-of-energy/alaska-state-of-energy-high.pdf?la=en>. 11/12/2020.
11. American Experience. 2006, « The Alaska pipeline. », in *American Experience*, en ligne. <https://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/films/pipeline/>. 7/12/2020.
12. American Experience. 2020, « How Alaska Profits from the Trans-Alaska Pipeline. », in *Public Broadcasting Service*, en ligne. <https://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/pipeline-how-alaska-profits-trans-alaska-pipeline/>. 8/12/2020.
13. Andersen, R., Behnken, L., Busch, L., Hopkins, L., Hopson, J., Kanayurak, N., Kimmel, M., Kohler, M., LeVine, M., Masteller, M., McCammon, M., Michels, D., Rose, C., Vanderburg, I., Weiss, J., Fields, D., Johnsen, J., Joule, R., Schimmel, S., Simon, L., Ulmer, F. 2018, « Alaska climate change action plan recommendations to the governor. », en ligne, 40 pages. https://akcenter.org/wp-2017/wp-content/uploads/2019/05/Ak_Climate_Action_Plan_brochure_final_web-1.pdf. 5/12/2020.
14. Anisimov, O., Reneve, S. 2006, « Permafrost and Changing Climate: The Russian Perspective. », in *Jstor*, en ligne. <https://www.jstor.org/stable/4315715?seq=1>. 15/12/2020.
15. Anisimov, O.A., Kokorev, V., Streletskiy, D.A., Shiklomanov, N. 2010, « Major natural and social-economic consequences of climate change in the permafrost region: predictions based on observations and modeling. », in *ResearchGate*, en ligne. <https://www.greenpeace.org/static/planet4-taiwan-stateless/2020/06/28a3c213-greenpeacearcticassessment.pdf>. 24/12/2020.
16. Antropov, M. 2020, « Can China log the whole forest in the south of Siberia? If you offer it, they will. », in *Realnoevremya*, en ligne. <https://realnoevremya.com/articles/4699-can-china-log-the-whole-forest-in-the-south-of-siberia>. 25/12/2020.
17. APCHQ. 2020, « C'est arrivé à un entrepreneur près de chez vous. », in *APCHQ*, en ligne. <https://www.apchq.com/documentation/technique/c-est-arrive-a-un-entrepreneur-pres-de-chez-vous/le-gel-provoque-une-degelee>. 27/12/2020.
18. Archer, D., Buffett, B., Brovkin, V. 2008, « Ocean methane hydrates as a slow tipping point in the global carbon cycle. », en ligne, 6 pages. <https://www.pnas.org/content/pnas/106/49/20596.full.pdf>. 02/12/2020.
19. Arctic Monitoring and Assessment Programme. 2017, « Aaptiaion actions for a changing arctic. », en ligne, 273 pages. <https://institutenorth.org/wp-content/uploads/2018/01/aaca-bcb.pdf.pdf>. 19/10/2020.
20. Arctic Regional Climate Center. 2020, « Arctic Climate Forum May 2020 Non-Technical Review: Summary of Winter 2020 and Outlook for Summer 2020. », en ligne, 24 pages. https://arctic-rcc.org/sites/arctic-rcc.org/files/presentations/acf-spring-2020/ACF-5_May27_1620_Non_Technical_Summary.pdf. 28/10/2020.
21. Aris, B. 2020, « Climate change and the Russian economy. », in *bne Intellinews*, en ligne. <https://www.intellinews.com/climate-change-and-the-russian-economy-191108/>. 27/12/2020.
22. Arthur, L. 2020, « An Analysis of Arctic Coastal Resilience in Response to Erosion. », in *Science Buzz*, en ligne. <https://www.sciencebuzz.com/analysis-arctic-coastal-resilience-response-erosion/>. 17/12/2020.
23. Bank of Russia. 2020, « Climate change: impact on the financial sector. », in *Bank of Russia*, en ligne. <https://www.cbr.ru/eng/press/event/?id=6829>. 27/12/2020.
24. Bassette, F. 2020, « The Consequences of Climate Change Are Already Visible in Siberia. », in *Resources*, en ligne. <https://www.resourcesmag.org/common-resources/consequences-climate-change-are-already-visible-siberia/>. 28/10/2020.

25. BBC. 2013, « Siberian permafrost thaw warning sparked by cave data. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/news/science-environment-21549643>. 21/12/2020.
26. BBC. 2018, « Trucking on Siberia's risky ice roads. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/news/av/42928179>. 21/12/2020.
27. Beckham, J. 2019, « Alaska's oil and gas future looks strong. », in *Anchorage Daily News*, en ligne. <https://www.adn.com/opinions/2019/09/17/alaskas-oil-and-gas-future-looks-strong/>. 8/12/2020.
28. Berman, M., Schmidt, J. 2020, « Economic Effects of Climate Change in Alaska. », en ligne, 15 pages. <https://scholarworks.alaska.edu/bitstream/handle/11122/11113/Economic%20Effects%20of%20Climate%20Change%20in%20Alaska.pdf?sequence=1>. 15/12/2020.
29. Bezrukov, L.A. 2012, « the barriers and ways of development of siberia's regions with limited transport accessibility. », en ligne, 15 pages. <http://www-sre.wu.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa12/e120821aFinal00208.pdf>. 21/12/2020.
30. Bezrukov, L.A., Korytny, L.M. 2009, « Role of Siberia's territories in the economic development of Russia. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1875372809000574>. 25/10/2020.
31. Birchall, S.J., Bonnett, N. 2019, « Local-scale climate change stressors and policy response: the case of Homer, Alaska. », in *Taylor & Francis Online*, en ligne. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09640568.2018.1537975>. 14/12/2020.
32. Blank, S. 2019, « Russia exploits climate change in the Arctic, ignoring threat to infrastructure. », in *The Hill*, en ligne. <https://thehill.com/opinion/international/443402-russia-exploits-climate-change-in-the-arctic-ignoring-threat-to>. 23/12/2020.
33. Bohrer, B. 2020, « Feds end road, logging restrictions in Alaska's Tongass National Forest, one of the world's largest temperate rainforests. », in *USA Today News*, en ligne. <https://eu.usatoday.com/story/news/nation/2020/10/28/tongass-national-forest-alaska-exempt-roadless-rule-usda/6065610002/>. 12/12/2020.
34. Bolstad, E. 2017, « Alaska Faces Up to \$5.5 Billion in Climate Damage by 2100. », in *Scientific American*, en ligne. 1 <https://www.scientificamerican.com/article/alaska-faces-up-to-5-5-billion-in-climate-damage-by-2100/>. 11/12/2020.
35. Booshehrian, A., Wan, R., Su, G. 2019, « Thermal Disturbances in Permafrost Due to Open Pit Mining and Tailings Impoundment. », in *MDPI*, en ligne. <https://www.mdpi.com/2075-163X/10/1/35>. 7/12/2020.
36. Borunda, A. 2020, « Arctic summer sea ice could disappear as early as 2035. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/science/2020/08/arctic-summer-sea-ice-could-be-gone-by-2035/>. 14/12/2020.
37. Bourne, J.K. 2019, « See Russia's massive new gas plant on the Arctic coast. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/03/sabetta-yamal-largest-gas-field/>. 23/12/2020.
38. Briney, A. 2019, « Geography of Siberia », in *ThoughtCo.*, en ligne. <https://www.thoughtco.com/geography-of-siberia-1435483>. 24/10/2020.
39. Brown, A. 2017, « Rodchenkov's affidavit shows how corruption is embedded in Russian sport. », in *The Sports Integrity Initiative*, en ligne. <https://www.sportsintegrityinitiative.com/rodchenkovs-affidavit-shows-corruption-embedded-russian-sport/>. 27/12/2020.
40. Brzozowski, A. 2019, « In northwest Siberia, Russia's flagship gas project defies pipeline politics. », in *Euractiv*, en ligne. <https://www.euractiv.com/section/global-europe/news/in-northwest-siberia-russias-flagship-gas-project-defies-pipeline-politics/>. 23/12/2020.
41. Calmels, F., Roy, L.-P., Laurent, C., Pelletier, M. 2015, « Vulnerability of the North Alaska Highway to Permafrost Thaw. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/277954708_Vulnerability_of_the_North_Alaska_Highway_to_Permafrost_Thaw. 10/12/2020.
42. Cao, W., Sheng, Y., Wu, J., Li, J., Li, J., Chou, Y. 2016, « Simulation analysis of the impact of excavation backfill on permafrost recovery in an opencast coal-mining pit. », in *Springer*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5659-5>. 7/12/2020.

43. Cavendish, M. 2014, « Social Effects of the Industrial Revolution (1800-1920). », en ligne, 2 pages.
<https://www.lcps.org/cms/lib4/VA01000195/Centricity/Domain/10599/Social%20Effects%20of%20the%20Industrial%20Revolution.pdf>. 28/12/2020.
44. Center-invest Bank. 2019, « Center-invest Bank launches Russia's first green bonds. », in *Global Alliance for Banking on Values*, en ligne. <http://www.gabv.org/news/center-invest-bank-launches-russias-first-green-bonds>. 26/12/2020.
45. Chapin III, F.S., Knapp, C.N., Brinkman, T.J., Bronen, R., Cochran, P. 2016, « Community-empowered adaptation for self-reliance. », in *ScienceDirect*, en ligne.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1877343515300208?via%3Dihub>. 15/12/2020.
46. Chen J. S., Wang, W., Jensen, O., Kim, H., Liu, W.-Y. 2020, « Perceived impacts of tourism in the Arctic. », in *Taylor & Francis Online*, en ligne.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14766825.2020.1735403?journalCode=rtcc20>. 01/11/2020.
47. Choudhary, S. 2020, « Norilsk Oil Spill: What Happens in the Arctic Doesn't Stay in the Arctic. », in *The Geopolitics*, en ligne. <https://thegeopolitics.com/norilsk-oil-spill-what-happens-in-the-arctic-doesnt-stay-in-the-arctic/>. 17/12/2020.
48. Clare, L. 2020, « Major diesel fuel leak in Russian Arctic threatens vulnerable rivers, lakes, wildlife and Indigenous Peoples. », in *WWF*, en ligne.
<https://arcticwwf.org/newsroom/news/major-diesel-fuel-leak-in-russian-arctic-threatens-vulnerable-rivers-lakes-wildlife-and-indigenous-peoples/>. 15/12/2020.
49. Clark, R., Ott, A., Rabe, M., Vincent-Lang, D., Woodby, D. 2010, « The Effects of a Changing Climate on Key Habitats in Alaska. », en ligne, 111 pages.
https://www.adfg.alaska.gov/static/lands/ecosystems/pdfs/sp10_14.pdf. 24/10/2020.
50. Claude Grandpey : Volcans et glaciers. 2020, « La fonte du permafrost ferme un aéroport en Alaska // Melting permafrost closes an airport in Alaska. », in *Claude Grandpey : Volcans et glaciers*, en ligne. <https://claudegrandpeyvolcansetglaciers.com/2017/10/15/la-fonte-du-permafrost-ferme-un-aeroport-en-alaska-melting-permafrost-closes-an-airport-in-alaska/>. 10/12/2020.
51. CleanEarth Technologies. 2020, « Climate Change Affecting Tailings Dams in Cold Climate Mining Operations. », in *CleanEarth Technologies*, en ligne. <https://www.cleaneearth.tech/climate-change-affecting-tailings-dams-in-cold-climate-mining-operations/>. 25/12/2020.
52. Climate Hot Map. 2018, « Fairbanks, AK, USA. », in *Union of Concerned Scientists*, en ligne. <https://www.climatehotmap.org/global-warming-locations/fairbanks-ak-usa.html>. 11/12/2020.
53. Cordell, J. 2020, « Arctic Oil Spill: Nornickel Failures, Tank Flaws Caused Catastrophe – Report. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2020/11/26/arctic-oil-spill-nornickel-failures-tank-flaws-caused-catastrophe-report-a72156>. 18/12/2020.
54. Coutures, A. 2020, « Virus et CO2, la fonte du permafrost menace la planète. », in *Huffpost*, en ligne. https://www.huffingtonpost.fr/entry/virus-co2-la-fonte-du-permafrost-menace-la-planete_fr_5f9993eec5b6a4a2dc815c97. 16/10/2020.
55. D'April, A. 2018, « Arctic tourism: how the Great North is becoming the new exotic. », in *Foresight*, en ligne. <https://www.climateforesight.eu/future-earth/arctic-tourism-how-the-great-north-is-becoming-the-new-exotic/>. 30/10/2020.
56. Dangerousroads. 2020, « Lena river ice road. », in *Dangerousroads*, en ligne.
<https://www.dangerousroads.org/eastern-europe/russia/8275-lena-river-ice-road.html>. 22/12/2020.
57. Danilin, I.M., Crow, T.R. 2008, « The Great Siberian Forest: Challenges and Opportunities of Scale. », in *SpringerLink*, en ligne. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4020-8504-8_4. 25/12/2020.
58. Date World Population Review. 2020, « Alaska Population 2020. », in *World Population Review*, en ligne. <https://worldpopulationreview.com/states/alaska-population>. 16/10/2020.
59. Daugherty, L.K. 2018, « Challenges of Designing and Building Bridges in Alaska. », en ligne, 6 pages. http://dot.alaska.gov/stwddes/desbridge/assets/grant/seward/IBC1363_paper.pdf. 11/12/2020.

60. Davydova, A. 2020, « Fossil-fuel giant Russia tiptoes towards low-carbon future. », in *Reuters*, en ligne. <https://www.reuters.com/article/us-climate-change-russia-economy-trfn-idUSKBN21D367>. 25/12/2020.
61. De Sousa, K. 2020, « Siberia. », in *Esri*, en ligne. <https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=9227d2c96f084605bd47812a48f8bea7>. 26/10/2020.
62. DeHart, M. 2019, « Offshore Drilling And Potential Impacts On Alaska. », in *Science Buzz*, en ligne. <https://www.sciencebuzz.com/offshore-drilling-and-potential-impacts-on-alaska/>. 13/12/2020.
63. Dell'Amore, C. 2013, « Biggest Virus Yet Found, May Be Fourth Domain of Life? », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/news/2013/7/130718-viruses-pandoraviruses-science-biology-evolution/>. 03/12/2020.
64. Department of agriculture. 2020, « Special Areas; Roadless Area Conservation; National Forest System Lands in Alaska. », en ligne, 16 pages. <https://www.federalregister.gov/documents/2020/10/29/2020-23984/special-areas-roadless-area-conservation-national-forest-system-lands-in-alaska>. 12/12/2020.
65. Derksen C., Brown. 2012, « Spring snow cover extent reductions in the 2008-2012 period exceeding climate model projections. », in *AGU*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012GL053387>. 07/11/2020.
66. Dickie, G. 2020, « Siberian heat drives Arctic ice extent to record low for early July. », in *Mongabay*, en ligne. <https://news.mongabay.com/2020/07/siberian-heat-drives-arctic-ice-extent-to-record-low-for-early-july/>. 03/12/2020.
67. Dienes, L. 2004, « Observations on the problematic potential of Russian Oil and the complexities of Siberia. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/250171896_Observations_on_the_Problematic_Potential_of_Russian_Oil_and_the_Complexities_of_Siberia. 20/12/2020.
68. Dixon, R. 2019, « A huge Siberian pipeline binds Russia and China, as gas flows for the first time. », in *The Washington Post*, en ligne. https://www.washingtonpost.com/world/asia-pacific/a-huge-siberian-gas-pipeline-binds-russia-and-china-as-gas-flows-for-the-first-time/2019/12/02/35250ff8-14f7-11ea-80d6-d0ca7007273f_story.html. 23/12/2020.
69. Doyle, A. 2020, « “Nature doesn’t trust us anymore”: Arctic heatwave stokes permafrost thaw. », in *Climate Home News*, en ligne. <https://www.climatechangenews.com/2020/07/07/nature-doesnt-trust-us-arctic-heatwave-stokes-permafrost-thaw/>. 28/10/2020.
70. Doyle, A. 2020, « Norilsk Nickel fined US\$2.1bn for Arctic oil spill. », in *The Chemical Engineer*, en ligne. <https://www.thechemicalengineer.com/news/norilsk-nickel-fined-us-21bn-for-arctic-oil-spill/>. 15/12/2020.
71. Doyle, A. 2020, « Oil tank collapse likely caused by melting permafrost. », in *The Chemical Engineer*, en ligne. <https://www.thechemicalengineer.com/news/oil-tank-collapse-likely-caused-by-melting-permafrost/>. 15/12/2020.
72. Dunleavy, M.J. 2019, « State of Alaska. », en ligne, 1 page. <https://www.alaskapublic.org/wp-content/uploads/2019/02/02.22.19-G4-Mara-Kimmel.pdf>. 13/12/2020.
73. DW News. 2020, « Climate change in Russia: Can Siberia's permafrost be saved? | Focus on Europe. », in *Youtube*, en ligne. <https://www.youtube.com/watch?v=JoIG08fDV5k>. 22/12/2020.
74. EarthJustice. 2019, « The Roadless Rule. », in *EarthJustice*, en ligne. <https://earthjustice.org/features/timeline-of-the-roadless-rule>. 12/12/2020.
75. Earthworks. 2017, « New Study: 74% of U.S. gold mines pollute water. », in *Earthworks*, en ligne. https://www.earthworks.org/media-releases/new_study_74_of_us_gold_mines_pollute_water/. 7/12/2020.
76. Eba Engineering Consultants Ltd. 2004, « Permafrost Considerations for effective Mine Site development in the Yukon Territory. », en ligne, 33 pages. <https://geocryology.files.wordpress.com/2014/03/permafrost-consideration-for-mines.pdf>. 6/12/2020.
77. Edmond, C. 2020, « Siberia’s weather is weird - and it’s causing problems. », in *World Economic Forum*, en ligne. <https://www.weforum.org/agenda/2020/06/snow-ice-heatwave-siberia-climate-change-weather/>. 22/12/2020.

78. Ellyatt, H. 2013, « Why Siberia Could Be Russia's Secret Economic Weapon. », in *CNBC*, en ligne. <https://www.cnbc.com/id/100823089>. 18/12/2020.
79. Encyclopedia of Geology. 2020, « Frost Heave. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/frost-heave>. 27/12/2020.
80. Encyclopedia.com. 2020, « Siberia. », in *Encyclopedia.com*, en ligne. <https://www.encyclopedia.com/places/commonwealth-independent-states-and-baltic-nations/cis-and-baltic-political-geography/siberia>. 26/10/2020.
81. Environmental Justice Atlas. 2020, « Russian Federation. », in *Environmental Justice Atlas*, en ligne. <https://ejatlas.org/country/russia>. 27/12/2020.
82. EPA. 2017, « Climate impacts in Alaska. », in *EPA*, en ligne. https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-alaska_.html. 14/12/2020.
83. Ethica Diamonds. 2019, « Diamond mining. », in *Ethica Diamonds*, en ligne. <https://www.ethica.diamonds/diamond-mining-effects/>. 15/12/2020.
84. Fedorinova, Y., Lombrana, L.M. 2020, « Russia's Richest Man Owns More Melting Arctic Than Anyone. », in *Bloomberg*, en ligne. <https://www.bloomberg.com/news/features/2020-09-10/climate-change-in-the-arctic-catches-up-with-russia-s-richest-man>. 25/12/2020.
85. Feltman, R. 2015, « A giant ancient virus was just uncovered in melting ice - and it won't be the last. », in *The Washington Post*, en ligne. <https://www.washingtonpost.com/news/science/wp/2015/09/09/an-ancient-giant-virus-was-just-uncovered-in-melting-ice-and-it-wont-be-the-last/>. 02/12/2020.
86. Ferber, D. 2013, « Research finds additional harm from coal dust exposure. », in *Energy news network*, en ligne. <https://energynews.us/2013/02/20/midwest/research-finds-additional-harm-from-coal-dust-exposure/>. 18/12/2020.
87. Fitzgerald, R.D. 2020, « The Social Impact of the Industrial Revolution. », in *Encyclopedia.com*, en ligne. <https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/social-impact-industrial-revolution>. 28/12/2020.
88. Forbes. 2020, « Alaska. », in *Forbes*, en ligne. <https://www.forbes.com/places/ak/?sh=4510ae2e6800>. 16/10/2020.
89. Fountain, H. 2017, « Alaska's permafrost, shown here in 2010, is no longer permanent. It is starting to thaw. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/interactive/2017/08/23/climate/alaska-permafrost-thawing.html>. 10/12/2020.
90. Fountain, H., Eder, S. 2019, « The White House Saw Riches in the Arctic Refuge, but Reality May Fall Short. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2019/08/21/us/oil-drilling-arctic.html>. 12/12/2020.
91. Free Documentary. 2019, « Most Dangerous Transports: Siberian Ice Road | Mega Transports | Free Documentary. », in *Youtube*, en ligne. <https://www.youtube.com/watch?v=wZWAtpRAXyA>. 21/12/2020.
92. Freedman, A., Cappucci, M. 2020, « Parts of Siberia are hotter than Washington, with temperatures nearly 40 degrees above average. », in *The Washington Post*, en ligne. <https://www.washingtonpost.com/weather/2020/05/22/siberia-heat-wave/>. 03/12/2020.
93. Freedman, A., Khurshudyan, I. 2020, « Siberia's persistent, freakishly mild weather is reverberating around the world. », in *The Washington Post*, en ligne. <https://www.washingtonpost.com/weather/2020/06/15/siberia-record-warmth/>. 22/12/2020.
94. Friedman, S. 2020, « How Will Big Oil Climate Pledges Affect Alaska? », in *Oil & Gas*, en ligne. <https://digital.akbizmag.com/issue/may-2020/how-will-big-oil-climate-pledges-affect-alaska/>. 15/12/2020.
95. Fujita, M., Kumo, K., Zubarevich, N. 2004, « Module 18 Economic Geography and the Regions of Russia. », en ligne, 21 pages. <http://www.ier.hit-u.ac.jp/~kumo/Module-18-Fujita-Kumo-Zubarevich-2004-11-3.pdf>. 24/10/2020.
96. Gaddy, C.G. 2013, « Russia's development of Siberia: what is to be done? », in *Brookings*, en ligne. <https://www.brookings.edu/blog/up-front/2013/06/18/russias-development-of-siberia-what-is-to-be-done/>. 21/12/2020.

97. Gates, M. 2011, « Permafrost tested miners ingenuity. », in *Yukon news*, en ligne. <https://www.yukon-news.com/letters-opinions/permafrost-tested-miners-ingenuity/>. 6/12/2020.
98. Gautier, E., Brunstein, D., Costard, F., Lodina, R. 2003, « Fluvial dynamics in a deep permafrost zone – the case of the middle Lena river (Central Siberia). », en ligne, 6 pages. https://www.arlis.org/docs/vol1/ICOP/55700698/Pdf/Chapter_049.pdf. 22/12/2020.
99. Gentry, B. 2020, « Native Peoples and Permafrost in Alaska. », in *The Higher Ground Foundation*, en ligne. <https://www.thehighergroundfoundation.org/post/ii-native-peoples-and-permafrost-in-alaska>. 14/12/2020.
100. Gestring, B. 2020, « Pebble Mine Denied! », in *Earthworks*, en ligne. <https://www.earthworks.org/blog/pebble-mine-denied/>. 13/12/2020.
101. Gifford, C. 2020, « On thin ice: thawing permafrost dampens Russia's economic growth prospects. », in *World Finance*, en ligne. <https://www.worldfinance.com/featured/on-thin-ice-thawing-permafrost-dampens-russias-economic-growth-prospects>. 25/12/2020.
102. Gislam, S. 2020, « Russia's Polyus claims gold mine in Siberia as world's largest. », in *Industry Europe*, en ligne. <https://industryeurope.com/sectors/metals-mining/russias-polyus-claims-gold-mine-in-siberia-as-worlds-largest/>. 26/12/2020.
103. Glikson, A. 2018, « The methane time bomb. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021830136X>. 02/12/2020.
104. Golovushkin, N.A., Kuznetsova, I.N., Konovalov, I., Nahaev, M.I. 2020, « Analysis of Brown Carbon Content and Evolution in Smokes from Siberian Forest Fires Using AERONET Measurements. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/342326504_Analysis_of_Brown_Carbon_Content_and_Evolution_in_Smokes_from_Siberian_Forest_Fires_Using_AERONET_Measurements. 19/12/2020.
105. Goudet, J.-L. 2015 « Un virus géant, Mollivirus, renaît du sol galé après... 30.000 ans. », en ligne. <https://www.futura-sciences.com/sante/actualites/biologie-virus-geant-mollivirus-renait-sol-gele-apres-30000-ans-59669/>. 07/10/2020.
106. Greenpeace. 2020, « Разлив дизельного топлива на ТЭЦ-3. », in *Flourish*, en ligne. https://public.flourish.studio/visualisation/2675690/?utm_source=showcase&utm_campaign=visualisation/2675690&_ga=2.43849953.533192010.1608351594-1980253154.1608351594. 16/12/2020.
107. Guarino, M.-V., Sime, L.C., Schröder, D., Malmierca-Vallet, I., Rosenblum, E., Ringer, M., Ridley, J., Feltham, D., Bitz, C., Steig, E.J., Wolff, E., Stroeve, J., Sellar, A. 2020, « Sea-ice-free Arctic during the Last Interglacial supports fast future loss. », in *Nature climate change*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0865-2>. 24/10/2020.
108. Guichard, J.-P. 2015, « La politique russe, la Sibérie et l'Europe. », in *Cairn.info*, en ligne. <https://www.cairn.info/revue-geo-economie-2015-1-page-81.htm>. 24/10/2020.
109. Hart, E. 2020, « Red dog water management weekly report. », en ligne, 3 pages. <https://www.alaskapublic.org/wp-content/uploads/2020/08/Red-Dog-Water-Management-Weekly-Report-8.28.2020.pdf>. 13/12/2020.
110. Hartz, J. 2013, « Thawing permafrost: The speed of coastal erosion in Eastern Siberia has nearly doubled. », in *Skeptical Science*, en ligne. https://skepticalscience.com/The-speed-of-coastal-erosion-in-Eastern-Siberia_AWI.html. 02/12/2020.
111. Hays, J. 2016, « People of Siberia. », in *Facts and details*, en ligne. http://factsanddetails.com/russia/Minorities/sub9_3e/entry-5120.html. 26/10/2020.
112. Herz, N. 2019, « Alaska's top environmental watchdog on climate change: 'it's not an emergency'. », in *Alaska Public Media*, en ligne. <https://www.alaskapublic.org/2019/10/30/alaskas-top-environmental-watchdog-state-is-tackling-global-warming-but-its-not-an-emergency/>. 13/12/2020.
113. Herz, N. 2019, « Dunleavy disbands Alaska climate response team. », in *KTOO*, en ligne. <https://www.ktoo.org/2019/02/25/dunleavy-disbands-alaska-climate-response-team/>. 13/12/2020.
114. Hese, S., Schmuilius, C.C. 2008, « Object oriented oil spill contamination mapping in West Siberia with Quickbird data. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/226568188_Object_oriented_oil_spill_contamination_mapping_in_West_Siberia_with_Quickbird_data. 16/12/2020.

115. History.com. 2019, « Industrial Revolution. », in *History*, en ligne. https://www.history.com/topics/industrial-revolution/industrial-revolution#section_5. 28/12/2020.
116. Home. A. 2018, « Sanctions fever grips nickel as market rethinks Russia risk: Andy Home. », in *Reuters*, en ligne. <https://in.reuters.com/article/us-sanctions-nickel/sanctions-fever-grips-nickel-as-market-rethinks-russia-risk-andy-home-idUSKBN1HS02N>. 27/12/2020.
117. Homer Alaska. 2020, « Sustainability. », in *Homer Alaska*, en ligne. <https://www.cityofhomer-ak.gov/community/sustainability> 14/12/2020.
118. Howard, B.C. 2015, « 5 Other Mines at Risk of Spilling Toxic Waste. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/news/2015/08/150814-hardrock-mines-toxic-waste-pollution-colorado-mine-environment-gold-king-spill/>. 7/12/2020.
119. Humpert, M. 2019, « Permafrost thaw will force Greenland's Kangerlussuaq Airport to close to most commercial traffic in 2024. », in *ArcticToday*, en ligne. <https://www.arctictoday.com/permafrost-thaw-will-force-greenlands-kangerlussuaq-airport-to-close-to-most-commercial-traffic-in-2024/>. 10/12/2020.
120. IUCN. 2019, « The Russian Arctic: on the way to common ground in biodiversity conservation. », en ligne. 3 pages. https://www.iucn.org/sites/dev/files/the_russian_arctic_factsheet_revised.pdf. 26/12/2020.
121. Jafarov, E.E., Coon, E.T., Harp, D.R., Wilson, C.J., Painter, S.L., Atchley, A.L., Romanovsky, V.E. 2018, « Modeling the role of preferential snow accumulation in through talik development and hillslope groundwater flow in a transitional permafrost landscape. », in *IOP science*, en ligne. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aadd30>. 22/10/2020.
122. Jamasmie, C. 2020, « Polyus' Siberian gold deposit has world's biggest reserves. », in *Mining [dot] com*, en ligne. <https://www.mining.com/polyus-siberian-gold-deposit-has-worlds-biggest-reserves/>. 15/12/2020.
123. Jenner, L. 2019, « Wildfires Across Alaska Top One Million Acres Burned. », in *Nasa*, en ligne. <https://www.nasa.gov/image-feature/goddard/2019/wildfires-across-alaska-top-one-million-acres-burned>. 22/10/2020.
124. Jonassen, T. 2020, « Nornickel disputes the environmental cost of May's massive Arctic fuel spill. », in *High North News*, en ligne. <https://www.highnorthnews.com/en/nornickel-disputes-environmental-cost-mays-massive-arctic-fuel-spill>. 18/12/2020.
125. Jorgenson, M.T., Yoshikawa, K., Kanevskiy M., Shur, Y.L., Romanovsky, V.E., Marchenko, S., Jones, B. 2008, « Permafrost Characteristics of Alaska + map. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/334524021_Permafrost_Characteristics_of_Alaska_Map. 16/10/2020.
126. Jun, S.-Y., Ho, C.-H., Jeong, J.-H., Choi, Y.-S., Kim, B.-M. 2016, « Recent changes in winter Arctic clouds and their relationships with sea ice and atmospheric conditions. », en ligne, 20 pages. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3402/tellusa.v68.29130>. 26/10/2020.
127. Juneau Empire. 2019, « Opinion: Dunleavy leaves Alaskans in a ditch over climate change. », in *Juneau Empire*, en ligne. <https://www.juneauempire.com/opinion/opinion-dunleavy-leaves-alaskans-in-a-ditch-over-climate-change/>. 13/12/2020.
128. Kempson, E.R., Franklin, A.E., Johannesen. 2020, « The Future of Sustainable Finance in Russia and the CIS. », en ligne, 6 pages. <https://www.lw.com/thoughtLeadership/the-future-of-sustainable-finance-in-russia-and-the-cis>. 26/12/2020.
129. Kholodov, A.L. 2020, « Community based permafrost and climate monitoring in rural Alaska. », in *Permafrost Laboratory*, en ligne. <https://permafrost.gi.alaska.edu/project/community-based-permafrost-and-climate-monitoring-rural-alaska-nsf-1503900>. 11/12/2020.
130. Khurshudyan, I., Freedman, A., Dennis, B. 2020, « Rapid Arctic meltdown in Siberia alarms scientists. », in *The Washington Post*, en ligne. https://www.washingtonpost.com/climate-environment/rapid-arctic-meltdown-in-siberia-alarms-scientists/2020/07/03/4c1bd6a6-bbaa-11ea-bdaf-a129f921026f_story.html. 23/12/2020.
131. Kissane, C., Varga, A. 2020, « Russia's Drilling in the Arctic Is a Threat to the World—and to Itself. », in *World Politics Review*, en ligne. <https://www.worldpoliticsreview.com/articles/28898/russian-oil-drilling-in-the-arctic-is-a-threat-to-the-world-and-to-itself>. 20/12/2020.

132. Kopec, B.G., Feng, X., Michel, F.A., Posmentier, E.S. 2015, « Influence of sea ice on Arctic precipitation. », in *PNAS*, en ligne. <https://www.pnas.org/content/113/1/46.short>. 24/10/2020.
133. KPMG. 2016, « Metals & Mining in Russia. », en ligne, 18 pages. <https://investinrussia.com/data/files/sectors/Metals-and-Mining-in-Russia.pdf>. 15/12/2020.
134. Kramer, A.E. 2018, « From Siberia, an Unlikely Cry: ‘We Need Greenpeace Out Here!’ », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2018/04/26/world/europe/siberia-ice-climate-change.html>. 22/12/2020.
135. Kramer, A.E. 2019, « As the Chinese Cut Down Siberia’s Forests, Tensions With Russians Rise. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2019/07/25/world/europe/russia-china-siberia-logging.html>. 25/12/2020.
136. Kryukov, V.A. 2019, « Studying the Economy of Siberia: Continuity and Integrity. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/334019637_Studying_the_Economy_of_Siberia_Continuity_and_Integrity. 26/10/2020.
137. Kujala, K., Seppälä, M., Holappa, T. 2008, « Physical properties of peat and palsa formation. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165232X07001644>. 03/12/2020.
138. Labe, Z. in *Twitter*, en ligne. <https://twitter.com/ZLabe> 04/12/2020.
139. Lannuzel, D., Tedesco, L., van Leeuwe, M., Campbell, K., Flores, H., Delille, B., Miller, L., Stefels, J., Assmy, P., Bowman, J., Brown, K., Castellani, G., Chierici, M., Crabeck, O., Damm, E., Else, B., Fransson, A., Fripiat, F., Geilfus, N.-X., Jacques, C., Jones, E., Kaartokallio, H., Kotovitch, M., Meiners, K., Moreau, S., Nomura, D., Peeken, I., Rintale, J.-M., Steiner, N., Tison, J.-L., Vancoppenolle, M., Van der Linden, F., Vichi, M., Wongpan, P. 2020, « The future of Arctic sea-ice biogeochemistry and ice-associated ecosystems. », in *Nature climate change*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-00940-4>. 24/10/2020.
140. Larunda. 2018, « Norilsk Nickel, too big to sanction or too big to miss? », in *Larunda*, en ligne. <https://medium.com/larunda/norilsk-nickel-too-big-to-sanction-f2dc9f643aca>. 27/12/2020.
141. Le Monde. 2018, « En Alaska, les pétroliers gèlent le sol réchauffé par l’augmentation des températures. », in *Le Monde*, en ligne. https://www.lemonde.fr/big-browser/article/2018/06/13/en-alaska-les-petroliers-gelent-le-sol-rechauffe-par-l-augmentation-des-temperatures_5314498_4832693.html. 10/12/2020.
142. Lempriere, M. 2020, « Will the Once-Frozen Wilderness Give Up its Riches? », in *Mine*, en ligne. https://mine.nridigital.com/mine_jun18/siberia_will_the_once-frozen_wilderness_give_up_its_riches. 24/12/2020.
143. Lewkowicz, A.G., Way, R.G. 2019, « Extremes of summer climate trigger thousands of thermokarst landslides in a High Arctic environment. », in *Nature communications*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41467-019-09314-7>. 29/10/2020.
144. Li, Y., Liu, W., Zhu, Y., Chen, Y., Song, Y., Li, Q. 2016, « Mechanical behaviors of permafrost-associated methane hydrate-bearing sediments under different mining methods. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261915005280>. 8/12/2020.
145. Liu, T., Liu, S. 2020, « The impacts of coal dust on miners’ health: a review. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120307441>. 16/12/2020.
146. Lonely planet, « History. », in *Lonely planet*, en ligne. <https://www.lonelyplanet.com/russia/siberia/history>. 24/10/2020.
147. Luhn, A. 2016, « Arctic oil rush: Nenets' livelihood and habitat at risk from oil spills. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/environment/2016/dec/23/arctic-oil-rush-nenets-livelihood-and-habitat-at-risk-from-oil-spills>. 16/12/2020.
148. Lutz, D.A., Shugart, H.H., White, M.A. 2013, « Sensitivity of Russian forest timber harvest and carbon storage to temperature increase. », in *Oxford Academic*, en ligne. <https://academic.oup.com/forestry/article/86/2/283/548698>. 25/12/2020.
149. Lynch, D., Miller, M.M. 2020, « Alaska. », in *Encyclopædia Britannica*, en ligne. <https://www.britannica.com/place/Alaska/People#ref281293>. 16/10/2020.

150. Mair, V. 2019, « Russian central bank joins the central bank green network. », in *Responsible Investor*, en ligne. <https://www.responsible-investor.com/articles/russian-central-bank-joins-the-central-bank-green-network>. 26/12/2020.
151. Manning, E. 2008, « Caribou and Climate Change the Nelchina Caribou Herd, Lichens and Fire. », in *Alaska department of fish and game*, en ligne. http://www.adfg.alaska.gov/index.cfm?adfg=wildlifeneews.view_article&articles_id=356. 24/10/2020.
152. Marchand, L. 2020, « Alaska : l'administration Trump autorise les forages dans une vaste zone protégée. », in *Les Echos*, en ligne. <https://www.lesechos.fr/monde/etats-unis/alaska-administration-trump-autorise-les-forages-dans-une-vaste-zone-protgee-1233041>. 12/12/2020.
153. Markon, C.J., Gray, S.T., Berman, M., Littell, J., Eerkes-Medrano, L., McCammon, M., Hennessy, T., Thoman, R., Huntington, H.P., Trainor, S.. 2018, « Alaska. », en ligne, 57 pages. <https://nca2018.globalchange.gov/chapter/26/>. 15/12/2020.
154. Marlatt, R. 2020, « The Intersection of U.S. Military Infrastructure & Alaskan Permafrost Through the 21st Century. », in *The Arctic Institute*, en ligne. <https://www.thearcticinstitute.org/intersection-military-infrastructure-alaskan-permafrost-21st-century/>. 14/12/2020.
155. Marques, C.F. 2020, « Arctic Fuel Spill Is a Wake-Up Call for Russia. », in *BloombergOpinion*, en ligne. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2020-06-12/huge-arctic-fuel-spill-is-a-climate-wake-up-call-for-russia?sref=Y5lbSVTx>. 18/12/2020.
156. McCallum, P. 2020, « Is your health at risk from coal dust? », in *Mackay Conservation Group*, en ligne. https://www.mackayconservationgroup.org.au/coal_dust. 18/12/2020.
157. McDowell group. 2010, « University of Alaska Community Campus Impact Study. », en ligne, 76 pages. http://www.mcdowellgroup.net/wp-content/uploads/2015/08/Statewide-Summary-Final-4_2_.pdf. 13/12/2020.
158. McDowell group. 2016, « The Economic Impacts of the Alaska Marine Highway System. », en ligne, 42 pages. <https://www.mcdowellgroup.net/wp-content/uploads/2016/02/Economic-Impacts-of-AMHS.pdf>. 6/12/2020.
159. McGarth, M. 2015, « Permafrost warming in parts of Alaska “is accelerating”. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/news/science-environment-34540414>. 22/10/2020.
160. McGroarty, E. 2019, « Dunleavy vetoes \$409 million in general funds; cuts university by \$130 million. », in *Daily News-Miner*, en ligne. http://www.newsminer.com/news/alaska_news/dunleavy-vetoes-million-in-general-funds-cuts-university-by-million/article_f3706a58-99d6-11e9-b799-fbe7e6d26fee.html. 13/12/2020.
161. McKay, D.A. 2020, « Fact-Check: is an Arctic “Methane Bomb” about to go off? », in *Climatetippingpoints.info*, en ligne. <https://climatetippingpoints.info/2019/05/13/fact-check-is-an-arctic-methane-bomb-about-to-go-off/>. 01/12/2020.
162. McKendy, J. 2018, « Climate change: Arctic coastlines eroding up to 40m yearly. », in *Gouvernement of Canada*, en ligne. <https://www.nrcan.gc.ca/simply-science/20661>. 23/10/2020.
163. Medvedkov, Y.V., Seton-Watson, H., Hosking, G.A., Vodovozov, S.A., Wachtel, A.B., Dewdney, J.C., Hellie, R., Medvedkov, O.L., Lieven, D., Keenan, E.L., McCauley, M., Raeff, M., Taruskin, R., Riasanovsky, N.V. 2020, « Russia. », in *Britannica*, en ligne. <https://www.britannica.com/place/Russia>. 25/10/2020.
164. Meeting the Frontiers. 2005, « Siberian cities », in *Meeting the Frontiers*, en ligne. <http://frontiers.loc.gov/intldl/mtfhtml/mfdev/colsibcities.html>. 26/10/2020.
165. MichaelK. 2015, « IPCC reflects scientific consensus on climate change. », in *SkepticalScience*, en ligne. <https://skepticalscience.com/Hulme-IPCC-consensus.htm>. 28/12/2020.
166. Miller, M. 2014, « Report: Alaska tourists may shift to new areas because of climate change. », in *KTOO*, en ligne. <https://www.ktoo.org/2014/08/04/report-alaska-tourists-may-shift-new-areas-climate-change/>. 6/12/2020.
167. Milman, O. 2019 « Alaska records warmest month ever in July with coastline barren of sea ice. », in *The guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/us-news/2019/aug/08/alaska-warmest-month-ever-july-2019-sea-ice>. 22/10/2020.

168. Milman, O. 2019, « Thawing Alaskan permafrost threatens local communities. », in *Grist*, en ligne. <https://grist.org/article/thawing-alaskan-permafrost-threatens-local-communities/>. 11/12/2020.
169. MiningWorld Russia. 2019, « What's the state of Russia's mining industry in 2019. », in *MiningWorld Russia*, en ligne. <https://miningworld.ru/Articles/whats-the-state-of-russias-mining-industry-in>. 17/12/2020.
170. Nagesh, A. 2020, « Arctic National Wildlife Refuge: The animals at risk from Alaska oil drilling. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-53819727>. 12/12/2020.
171. NASA. 2019, «History heat in Alaska. », in *earth observatory*, en ligne. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145294/historic-heat-in-alaska>. 19/10/2020.
172. National Park Service. 2020, « Glacier Bay. », in National Park Service, en ligne. <https://www.nps.gov/gba/learn/nature/glaciers.htm>. 16/10/2020.
173. National Wildlife federation. 2012, « Protecting america's waters from irresponsible mining: Close the Clean Water Act's Mining Waste Loopholes. », en ligne, 2 pages. https://www.nwf.org/~media/PDFs/Wildlife/Mining-Loopholes/AK_PebbleMine_v2.ashx. 13/12/2020.
174. Nations Encyclopedia. 2020, « Russia - Mining. », in *Nations Encyclopedia*, en ligne. <https://www.nationsencyclopedia.com/Europe/Russia-MINING.html>. 17/12/2020.
175. Naturvernforbundet. 2009, « Environmental issues in Russia. », in *Naturvernforbundet*, en ligne. <https://naturvernforbundet.no/international/environmental-issues-in-russia/category930.html>. 19/12/2020.
176. NGFS. 2020, « Membership. », in *NGFS*, en ligne. <https://www.ngfs.net/en/about-us/membership>. 26/12/2020.
177. Nielsen D.M., Dobrynin, M., Baehr, J., Razumov, S., Grigoriev, M. 2020, « Coastal Erosion Variability at the Southern Laptev Sea Linked to Winter Sea Ice and the Arctic Oscillation. », in *AGU*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019GL086876>. 02/12/2020.
178. Nietzel, M.T. 2020, « University Of Alaska To Eliminate, Reduce More Than 40 Academic Programs And Consider Merger Of Two Campuses. », in *Forbes*, en ligne. <https://www.forbes.com/sites/michaelt Nietzel/2020/06/06/university-of-alaska-to-eliminate-reduce-more-than-40-academic-programs/?sh=7aecbdf22f0e>. 13/12/2020.
179. Nilsen, T. 2020, « Equinor expands in oil on thawing permafrost in Siberia. », in *The Barents Observer*, en ligne. <https://thebarentsobserver.com/en/2020/12/equinor-expands-oil-thawing-permafrost-siberia-0>. 24/12/2020.
180. Nitze, I., Grosse, G., Jones, B.M., Romanovsky, V.E., Boike, J. 2018, « Remote sensing quantifies widespread abundance of permafrost region disturbances across the Arctic and Subarctic. », in *Nature communication*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-07663-3>. 15/12/2020.
181. NOAA. 2020, « Extraordinary Heat and Massive Fires are Scorching Siberia. », in *NAOO*, en ligne. <https://www.nesdis.noaa.gov/content/extraordinary-heat-and-massive-fires-are-scorching-siberia>. 29/10/2020.
182. Nornickel. 2020, « Clean-up Progress Update on the Accident. », in *Nornickel*, en ligne. <https://www.nornickel.com/news-and-media/press-releases-and-news/updates-on-the-clean-up-operation-following-diesel-spill-in-norilsk/>. 18/12/2020.
183. Oswell, J.M. 2011, « Pipelines in permafrost : geotechnical issues and lessons. », in *Canadian Science Publishing*, en ligne. <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/t11-045>. 9/12/2020.
184. Oswell, J.M. 2020, « Pipelines in permafrost: geotechnical issues and lessons. », en ligne, 20 pages. <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/t11-045>. 10/12/2020.
185. Ouest France. 2019, « Une étrange neige noire a recouvert plusieurs villes en Sibérie. », in *Ouest France*, en ligne. <https://www.ouest-france.fr/europe/russie/une-etrange-neige-noire-recouvert-plusieurs-villes-en-siberie-6226552>. 19/12/2020.
186. Overduin, P.P., Schneider von Deimling, T., Miesner, F., Grigoriev, M.N., Ruppel, C., Vasiliev, A., Lantuit, H., Juhls, B., Westermann, S. 2019, « Submarine Permafrost Map in the Arctic Modeled Using 1-D Transient Heat Flux (SuPerMAP).», in *AGU*, en ligne. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018JC014675>. 26/10/2020.

187. Palasciano, A. 2019, « Diamond mines sit deep below this Siberian town's permafrost. », in *CTV News*, en ligne. <https://www.ctvnews.ca/world/diamond-mines-sit-deep-below-this-siberian-town-s-permafrost-1.4497648>. 24/12/2020.
188. Panda, S., Marchenko, S., Romanovsky, V.E. 2014, « High-resolution permafrost modeling in Denali National Park and Preserve. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/280311351_High-resolution_permafrost_modeling_in_Denali_National_Park_and_Preserve. 11/12/2020.
189. Pandey, K. 2020, « Effects of Arctic Oil-spill: How big is the damage to the ecosystem and environment? », in *Mirrornews.com*, en ligne. <https://www.timesnownews.com/mirror-now/in-focus/article/effects-of-arctic-oil-spill-how-big-is-the-damage-to-the-ecosystem-and-environment/602298>. 18/12/2020.
190. Passos Coggin J.D. 2019, « New report highlights Alaska's last five years of dramatic climate change. », in *NOAA*, en ligne. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/new-report-highlights-alaska's-last-five-years-dramatic-climate>. 19/10/2020.
191. Pstick, N.J., Jorgenson, M.T., Wylie, B.K., Nield, S.J., Johnson, K.D., Finley, A.O. 2015, « Distribution of near-surface permafrost in Alaska: Estimates of present and future conditions. », in *Elsevier*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425715300778>. 23/10/2020.
192. Pauls, E.P. 2020, « Native American. », in *Encyclopædia Britannica*, en ligne. <https://www.britannica.com/topic/Native-American/The-Arctic>. 16/10/2020.
193. Paulson, A. 2019, « How offshore drilling became a losing proposition. », in *The Christian science monitor*, en ligne. <https://www.csmonitor.com/Environment/2019/0429/How-offshore-drilling-became-a-losing-proposition>. 13/12/2020.
194. Pedrazas, M.N., Cardenas, M.B., Demir, C., Watson, J.A., Connolly, C.T., McClelland, J.W. 2020, « Absence of ice-bonded permafrost beneath an Arctic lagoon revealed by electrical geophysics. », in *ScienceAdvances*, en ligne. <https://advances.sciencemag.org/content/6/43/eabb5083>. 16/10/2020.
195. Peng, G., Matthews, J.L., Wang, M., Vose, R., Sun, L. 2020, « What Do Global Climate Models Tell Us about Future Arctic Sea Ice Coverage Changes? », in *MDPI*, en ligne. <https://www.mdpi.com/2225-1154/8/1/15>. 24/10/2020.
196. Peter, L. 2019, « Russia's Taymyr plan: Arctic coal for India risks pollution. », in *BBC*, en ligne. <https://www.bbc.com/news/world-europe-50507539>. 26/12/2020.
197. Pettersson, L. 2019 « Global warming transforms the Arctic cloud cover. », in *Nansen Environmental and Remote Sensing Center*, en ligne. <https://www.nersc.no/news/global-warming-transforms-arctic-cloud-cover>. 20/10/2020.
198. Ponomarenko, S., Zyryanova, A. 2020, « East Siberian taiga. », in *WWF*, en ligne. <https://www.worldwildlife.org/ecoregions/pa0601>. 27/10/2020.
199. Pope, K. 2020, « Sweeping changes are on the way for Alaska lands and wildlife. », in *Yale Climate Connections*, en ligne. <https://yaleclimateconnections.org/2020/09/sweeping-changes-are-on-the-way-for-alaska-lands-and-wildlife/>. 24/10/2020.
200. Popovicheva, O., Diapouli, E., Makshtas, A., Shonija, N., Manousakas, M., Saraga, D., Uttal, T., Eleftheriadis, K. 2019, « East Siberian Arctic background and black carbon polluted aerosols at HMO Tiksi. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718345212>. 19/12/2020.
201. Poupin, P. 2020, « Les réseaux sociaux russes, lanceurs d'alerte de la catastrophe de Norilsk. », in *The Conversation*, en ligne. <https://theconversation.com/les-reseaux-sociaux-russes-lanceurs-dalerte-de-la-catastrophe-de-norilsk-140851>. 27/12/2020.
202. Prosekov, A.Y., Ivanova, S.A. 2018, « Nutritional features of indigenous people of Siberia and North America: Are we relatives? », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235261811830101X>. 26/10/2020.
203. RadioFreeEurope RadioLiberty. 2020, « Emergency Declared After Siberian Arctic Diesel Leak Threatens Environmental Disaster. », in *RadioFreeEurope RadioLiberty*, en ligne. <https://www.rferl.org/a/russia-norilsk-arctic-environment/30649745.html>. 16/12/2020.
204. Raynolds, M.K., Walker, D.A., Ambrosius, K.J., Brown, J., Everett, K.R., Kanevskiy, M., Kofinas, G.P., Romanovsky, V.E., Shur, Y., Webber, P.J. 2014, « Cumulative geocological

- effects of 62 years of infrastructure and climate change in ice-rich permafrost landscapes, Prudhoe Bay Oilfield, Alaska. », in *National Library of Medicine*, en ligne. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24339207/>. 9/12/2020.
205. RealClimate. 2013, « Arctic and American methane in context », in *RealClimate*, en ligne. <http://www.realclimate.org/index.php/archives/2013/11/arctic-and-american-methane-in-context/>. 02/12/2020.
206. Ren, C., Chimirri, D. 2018, « Arctic tourism - more than an industry? », in *The Arctic institute*, en ligne. <https://www.thearcticinstitute.org/arctic-tourism-industry/>. 29/10/2020.
207. Renfrow, S. 2020, « Arctic sea ice on the wane: Now what? », in *Earthdata*, en ligne. <https://earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/arctic-sea-ice-on-the-wane-now-what>. 24/10/2020.
208. Reuters Staff. 2020, « Nornickel says it collected more than 90% of fuel leaked by Arctic spill to rivers. », in *Reuters*, en ligne. <https://www.reuters.com/article/us-russia-pollution-nornickel/nornickel-says-it-collected-more-than-90-of-fuel-leaked-by-arctic-spill-to-rivers-idUKKBN26223V>. 18/12/2020.
209. Reuters Staff. 2020, « Russia to extend Transneft chief's contract despite oil contamination crisis. », in *Reuters*, en ligne. <https://www.reuters.com/article/us-russia-transneft-ceo/russia-to-extend-transneft-chiefs-contract-despite-oil-contamination-crisis-idUSKBN2220YB>. 23/12/2020.
210. Romanovsky, V.E. 2018, « How rapidly is permafrost changing and what are the impacts of these changes? », in *PMEL Arctic Zone*, en ligne. https://www.pmel.noaa.gov/arctic-zone/essay_romanovsky.html. 28/10/2020.
211. Rosen, Y. 2019, « Late-season fires flare up in drought-stricken parts of Alaska .», in *Reuters*, en ligne. <https://www.reuters.com/article/us-alaska-wildfires-idUSKCN1V91Z1>. 16/12/2020.
212. Ross, M. 2017, « Pipeline at 40: What does the future hold? », in *Alaska's news source*, en ligne. <https://www.alaskasnews.com/content/news/Pipe-at-40-what-does-the-future-hold-435922093.html>. 8/12/2020.
213. Russian Investigative Committee. 2020, « New criminal case launched against 'Norilsk Nickel' employees for environmental damage. », in *Meduza*, en ligne. <https://meduza.io/en/news/2020/06/16/new-criminal-case-launched-against-norilsk-nickel-employees-for-environmental-damage>. 27/12/2020.
214. S&P Global. 2020, « Daily Update : December 9, 2020. », in *S&P Global*, en ligne. <https://www.spglobal.com/en/research-insights/articles/daily-update-december-9-2020>. 9/12/2020.
215. S&P Global. 2020, « Daily Update. », in *S&P Global*, en ligne. <https://www.spglobal.com/en/research-insights/articles/daily-update-december-10-2020>. 10/12/2020.
216. S&P Global. 2020, « The Growing Importance of Data Centers for European & U.S. Renewable Projects. », in *S&P Global*, en ligne. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/blog/the-growing-importance-of-data-centers-for-european-and-u-s-renewable-projects>. 24/12/2020.
217. Sakai, T., Hiyama, T., Fujiwara, J., Gotovtsev, S., Gagarin, L. 2012, « Long-term flood damage by permafrost degradation in Siberia. », in *IEEE Xplore*, en ligne. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6350474>. 22/12/2020.
218. Schindler, T.L. 2020, « Arctic Sea Ice Minimum 2020; », in *NASA*, en ligne. <https://svs.gsfc.nasa.gov/4860>. 29/10/2020.
219. Schneider von Deimling, T., Lee, H., Ingeman-Nielsen, T., Westermann, S., Romanovsky, V., Lamoureux, S., Walker, D.A., Chadburn, S., Cai, L., Trochim, E., Nitzbon, J., Jacobi, S., Langer, M. 2020, « Consequences of permafrost degradation for Arctic infrastructure - bridging the model gap between regional and engineering scales. », en ligne, 31 pages. <https://tc.copernicus.org/preprints/tc-2020-192/tc-2020-192.pdf>. 9/12/2020.
220. Schneider von Deimling, T., Meinshausen, M., Levermann, A., Huber, V., Frieler, K., Lawrence, D.M., Brovkin, V. 2012, « Estimating the near-surface permafrost-carbon feedback on global warming. », in *Biogeosciences*, en ligne. <https://bg.copernicus.org/articles/9/649/2012/bg-9-649-2012.html>. 16/12/2020.

221. Schwartz J. 2020, « That Siberian Heat Wave? Yes, Climate Change Was a Big Factor. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2020/07/15/climate/siberia-heat-wave-climate-change.html>. 28/10/2020.
222. Scott, M. 2018, « 2018 Arctic Report Card: Less than 1 percent of Arctic ice has survived four or more summers. », in *NOAA*, en ligne. <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2018-arctic-report-card-less-1-percent-arctic-ice-has-survived-four-or>. 04/12/2020.
223. Seligman, B.J. 2000, « Long-term variability of pipeline-permafrost interactions in north-west Siberia. », in *Researchgate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/247957450_Long-term-variability-of-pipeline-permafrost-interactions-in-north-west-Siberia. 23/12/2020.
224. Sengupta, S. 2020, « Intense Arctic Wildfires Set a Pollution Record. », in *The New York Times*, en ligne. <https://www.nytimes.com/2020/07/07/climate/climate-change-arctic-fires.html>. 27/10/2020.
225. Shakhova, N., Semiletov, I., Leifer, I., Sergienko, V., Salyuk, A., Kosmach, D., Chernykh, D., Stubbs, C., Nicolsky, D., Tumskoy, V., Gustafsson, Ö. 2014, « Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf. », in *Nature Geoscience*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/ngeo2007>. 30/10/2020.
226. Shakhova, N., Semiletov, I.P. 2007, « Methane release and coastal environment in the East Siberian Arctic shelf. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/222408151_Methane_release_and_coastal_environment_in_the_East_Siberian_Arctic_shelf. 29/10/2020.
227. Shapovalova, D. 2020, « Oil Spill in Siberia: Are We Prepared for Permafrost Thaw? », in *The Arctic Institute*, en ligne. <https://www.thearcticinstitute.org/oil-spill-siberia-prepared-permafrost-thaw/>. 17/12/2020.
228. Shijin, W., Yaqiong, M., Xueyan, Z., Jia, X. 2020, « Polar tourism and environment change: opportunity, impact and adaptation. », in *ScienceDirect*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1873965220300517>. 28/10/2020.
229. Shiklomanov, N., Streletskiy, D.A., Swales, T.B., Kokorev, V. 2016, « Climate Change and Stability of Urban Infrastructure in Russian Permafrost Regions: Prognostic Assessment based on GCM Climate Projections. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/308925532_Climate_Change_and_Stability_of_Urban_Infrastructure_in_Russian_Permafrost_Regions_Prognostic_Assessment_based_on_GCM_Climate_Projections. 26/12/2020.
230. Shkividorova, P., Knizhnikov, A. 2020, « WWF-Russia: diesel fuel spill in Norilsk requires Federal involvement. », in *WWF*, en ligne. <https://wwf.ru/en/resources/news/zelenaya-ekonomika/wwf-razliv-diztopliva-v-norilске-trebuєt-federalnogo-vmeshatelstva/>. 15/12/2020.
231. Shtepa, V. 2018, « Russian Federal Districts as Instrument of Moscow's Internal Colonization. », in *Refworld*, en ligne. <https://www.refworld.org/docid/5b728d69a.html>. 24/10/2020.
232. Sikora, M., Pitulko, V.V., Sousa, V.C., Allentoft, M.E., Vinner, L., Rasmussen, S., Margaryan, A., de Barros Damgaard, P., de la Fuente, C., Renaud, G., Yang, M.A., Fu, Q., Dupanloup, I., Giampoudakis, K., Nogués-Bravo, D., Rahbek, C., Kroonen, G., Peyrot, M., McColl, H., Vasilyev, S.V., Veselovskaya, E., Gerasimova, M., Pavlova, E.Y., Ghasnyk, V.G., Nikolskiy, P.A., Gromov, A.V., Khartanovich, V.I., Moiseyev, V., Grebenyuk, P.S., Fedorchenko, A.Y., Lebedintsev, A.I., Slobodin, S.B., Malyarchuk, B.A., Martiniano, R., Meldgaard, M., Arppe, L., Palo, J.U., Sundell, T., Mannerrmaa, K., Putkonen, M., Alexandersen, V., Primeau, C., Baimukhanov, N., Malhi, R.S., Sjögren, K.-G., Kristiansen, K., Wessman, A., Sajantila, A., Mirazon Lahr, M., Durbin R., Nielsen, R., Meltzer, D.J., Excoffier, L., Willerslev, E. 2019, « The population history of northeastern Siberia since the Pleistocene. », in *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1279-z>. 26/10/2020.
233. Simonova, V.V., Belyaeva-Sachuk, V.A., Samsonova, I.V. 2020, « The sacred economy of wild mining in the Eastern Sayan mountains of Buriatia, South Siberia. », in *Taylor & Francis Online*, en ligne. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1751696X.2020.1750857?journalCode=rtam20>. 18/12/2020.

234. Sinclair, P. 2019, « Polar melting: “Methane time bomb” isn't actually a “bomb”. », in *Yale Climate Connections*, en ligne. <https://yaleclimateconnections.org/2019/01/methane-time-bomb-isnt-actually-a-bomb/>. 02/12/2020.
235. Sitka conservation society. 2014, « Sitka’s greenhouse gas emissions.», en ligne, 2 pages. http://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/sitkawildorg/legacy_url/2765/GHG-Emissions-V.2-8-6.pdf?1411507590. 5/12/2020.
236. Smith, L.C., Sheng, Y., MacDonald, G.M., Hinzman, L.D. 2005, « Disappearing Arctic lakes. », in *Science*, en ligne. <https://science.sciencemag.org/content/308/5727/1429.abstract>. 02/12/2020.
237. Smith, O.P., Levasseur, G. 2020, « Impacts of Climate Change on Transportation Infrastructure in Alaska. », en ligne, 11 pages. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.570.8966&rep=rep1&type=pdf>. 10/12/2020.
238. Staalesen, A. 2016, « Leader of eco watchdog gets 7 years jail for Norilsk Nickel bribe. », in *The Barents Observer*, en ligne. <https://thebarentsobserver.com/en/ecology-life-and-public/2016/09/leader-eco-watchdog-gets-7-years-jail-norilsk-nickel-bribe>. 27/12/2020.
239. Staff and agencies in Moscow. 2020, « Putin orders state of emergency after huge fuel spill inside Arctic Circle. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/environment/2020/jun/03/vladimir-putin-orders-state-of-emergency-huge-fuel-spill-siberia-power-plant-kerch>. 17/12/2020.
240. Statista. 2020, « Population size in Russia as of January 1, 2020, by federal district. », in *Statista*, en ligne. <https://www.statista.com/statistics/1009384/population-size-in-russia-by-federal-district/>. 25/10/2020.
241. Stephen, K. 2018, « Societal impacts of a rapidly changing Arctic. », in *SpringerLink*, en ligne. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40641-018-0106-1>. 30/10/2020.
242. Sutton, W. 2013, « Siberia has a very large forest resource but... », en ligne, 4 pages. http://nzjf.org.nz/free_issues/NZJF58_2_2013/6ED28A21-93C5-4b73-9524-E7041AD02F3C.pdf. 25/12/2020.
243. Taylor, M., Watts, J. 2019, « Revealed: the 20 firms behind a third of all carbon emissions. », in *The Guardian*, en ligne. https://www.theguardian.com/environment/2019/oct/09/revealed-20-firms-third-carbon-emissions?CMP=share_btn_tw. 20/12/2020.
244. Tchebakova, N.M., Parfenova, E.I., Soja, A.J. 2009, « The effects of climate, permafrost and fire on vegetation change in Siberia in a changing climate. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/230933791_The_effects_of_climate_permafrost_and_fire_on_vegetation_change_in_Siberia_in_a_changing_climate. 25/12/2020.
245. Teck Resources Ltd. 2020, « Management discussion section. », en ligne, 15 pages. <https://www.teck.com/media/Teck-Q2-2020-Transcript.pdf>. 8/12/2020.
246. Teterleva, A., Devitt, P. 2020, « Putin chides Norilsk, orders law change after Arctic fuel spill. », in *ArcticToday*, en ligne. <https://www.arctictoday.com/putin-chides-norilsk-orders-law-change-after-arctic-fuel-spill/>. 27/12/2020.
247. The Associated Press. 2017, « Shifting permafrost threatens Alaska village's new airport. », in *CBC*, en ligne. <https://www.cbc.ca/news/canada/north/shifting-permafrost-alaska-airport-bethel-1.4351497>. 10/12/2020.
248. The Associated Press. 2020, « U.S. federal appeals court rejects Alaska offshore drilling plan. », in *CBC*, en ligne. <https://www.cbc.ca/news/canada/north/u-s-federal-appeals-court-rejects-alaska-offshore-drilling-plan-1.5832713>. 13/12/2020.
249. The Editors of Encyclopaedia Britannica. 2015, « Siberia. », in *Britannica*, en ligne. <https://www.britannica.com/place/Siberia>. 25/10/2020.
250. The Editors of Encyclopaedia Britannica. 2020, « Industrial Revolution. », in *Britannica*, en ligne. <https://www.britannica.com/summary/Industrial-Revolution-Causes-and-Effects>. 28/12/2020.
251. The Great State of Alaska. 2020, « Barry Arm landslide and tsunami hazard. », in *Department of Natural Resources Geological & Geophysical surveys*, en ligne. <https://dgggs.alaska.gov/hazards/barry-arm-landslide.html>. 18/10/2020.

252. The Great State of Alaska. 2020, « Permafrost and Perglacial Hazards. », in *Department of Natural Resources Geological & Geophysical surveys*, en ligne. <https://dggs.alaska.gov/hazards/permafrost.html>. 16/10/2020.
253. The great state of Alaska. 2020, « Spill response summaries. », in *Prevention preparedness and reponse*, en ligne. <https://dec.alaska.gov/spar/ppr/spill-information/response/>. 9/12/2020.
254. The Moscow Times. 2018, « Russian Authorities Cover Snow in White Paint to Hide Signs of Pollution, Reports. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2018/12/19/russian-authorities-cover-snow-white-paint-hide-sings-pollution-a63892>. 26/12/2020.
255. The Moscow Times. 2019, « Russia's Gazprom Ranks 3rd Among World's Top Carbon Emitters – Study. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2019/10/09/russias-gazprom-ranks-3rd-among-worlds-top-carbon-emitters-study-a67661>. 20/12/2020.
256. The Moscow Times. 2020, « Russia Demands \$2Bln From Mining Giant Over Arctic Oil Spill. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2020/07/06/russia-demands-2bln-from-mining-giant-over-arctic-oil-spill-a70802>. 16/12/2020.
257. The Moscow Times. 2020, « Russia Plans to 'Adapt' to Climate Change. », in *The Moscow Times*, en ligne. <https://www.themoscowtimes.com/2020/01/06/russia-plans-to-adapt-to-climate-change-a68814>. 26/12/2020.
258. The Wilderness Society. 2019, « 7 ways oil and gas drilling is bad for the environment. », in *The Wilderness Society*, en ligne. <https://www.wilderness.org/articles/blog/7-ways-oil-and-gas-drilling-bad-environment#>. 11/12/2020.
259. The Wilderness Society. 2020, « Oil Drilling: Arctic National Wildlife Refuge. », in *The Wilderness society*, en ligne. <https://www.wilderness.org/wild-places/alaska/oil-drilling-arctic-national-wildlife-refuge#>. 12/12/2020.
260. The World Bank. 2018, « Russia: Unlocking Opportunities for Green Investments. », in *The World Bank*, en ligne. <https://www.worldbank.org/en/country/russia/publication/russia-unlocking-opportunities-for-green-investments>. 26/12/2020.
261. Thoman, R. in *Twitter*, en ligne. <https://twitter.com/AlaskaWx>. 04/12/2020.
262. Thompson, A. 2015, « Here's How Much of Alaska's Permafrost Could Melt. », in *Scientific American*, en ligne. <https://www.scientificamerican.com/article/here-s-how-much-of-alaska-s-permafrost-could-melt/>. 23/10/2020.
263. Troianovski, A., Mooney, C. 2019, « Melting permafrost in Siberia is creating climate change refugees. », in *Independent*, en ligne. https://www.independent.co.uk/news/long_reads/climate-change-refugees-siberia-permafrost-melt-a9146616.html. 22/12/2020.
264. Turetsky, M.R., Abbott, B.W., Jones, M.C., Walter Anthony, K., Olefeldt, D., Schuur, E.A.G., Grosse, G., Kuhry, P., Hugelius, G., Koven, C., Lawrence, D.M., Gibson, C., Sannel, A.B.K., McGuire, D. 2020, « Carbon release through abrupt permafrost thaw. », in *Nature Geoscience*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/s41561-019-0526-0>. 01/12/2020.
265. U.S. Climate Resilience Toolkit. 2020, « Case Study. », in *U.S. Climate Resilience Toolkit*, en ligne. <https://toolkit.climate.gov/#case-studies>. 14/12/2020.
266. U.S. Copper Porphyry Mines. 2012, « the track record of water quality impacts resulting from pipeline spills, tailings failures and water collection and treatment failures. », en ligne, 34 pages. https://www.earthworks.org/cms/assets/uploads/2012/08/Porphyry_Copper_Mines_Track_Record_-_8-2012.pdf. 8/12/2020.
267. U.S. department of transportation Federal aviation administration. 2020, « Airport Master Record. », en ligne, 1 page. <https://www.gcr1.com/5010ReportRouter/4KA.pdf>. 10/12/2020.
268. United States census bureau. 2020, « QuickFacts Alaska. », in *United states census bureau*, en ligne. <https://www.census.gov/quickfacts/AK>. 16/10/2020.
269. Uvarova, O.A., Naumova, O.E. 2020, « Farmation of transport infrastructure in Siberia: historical experience and future development. », in *ResearchGate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/339345426_Formation_of_Transport_Infrastructure_in_Siberia_Historical_Experience_and_Future_Development. 21/12/2020.
270. Watson, E. 2017, « Melting permafrost. », in *National Park Service*, en ligne. https://www.nps.gov/dena/getinvolved/dca_watson.htm. 11/12/2020.

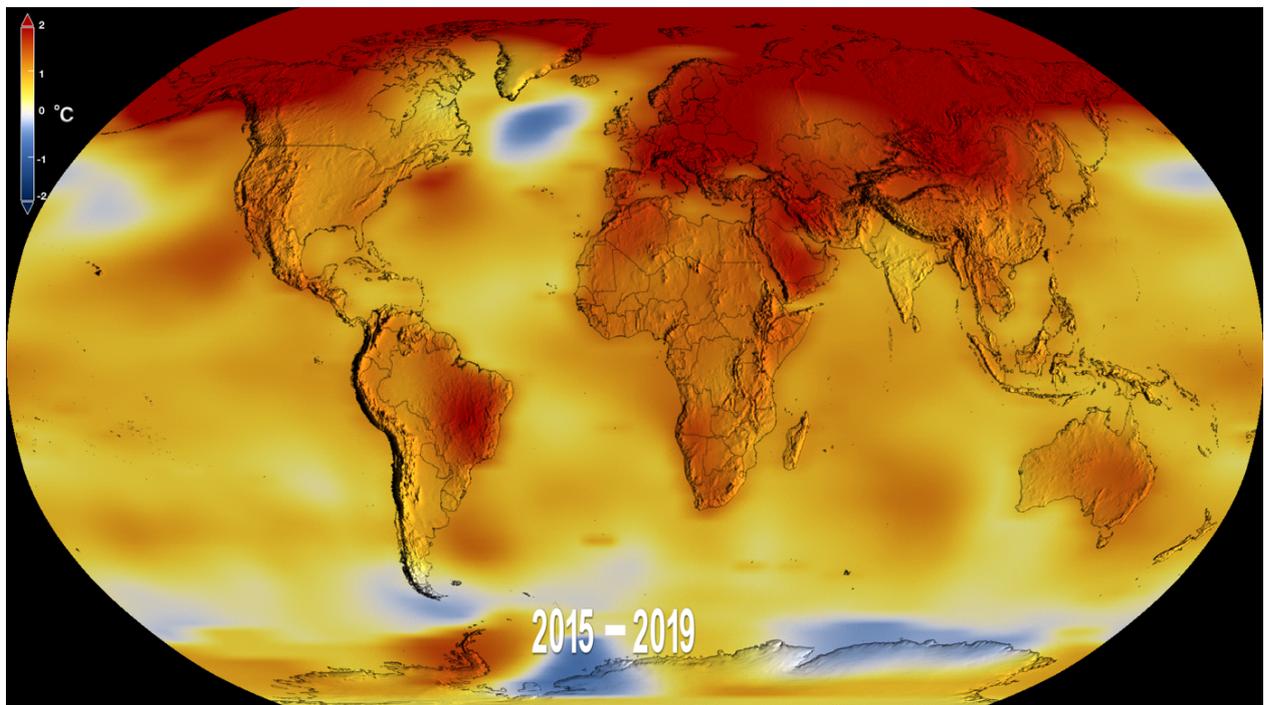
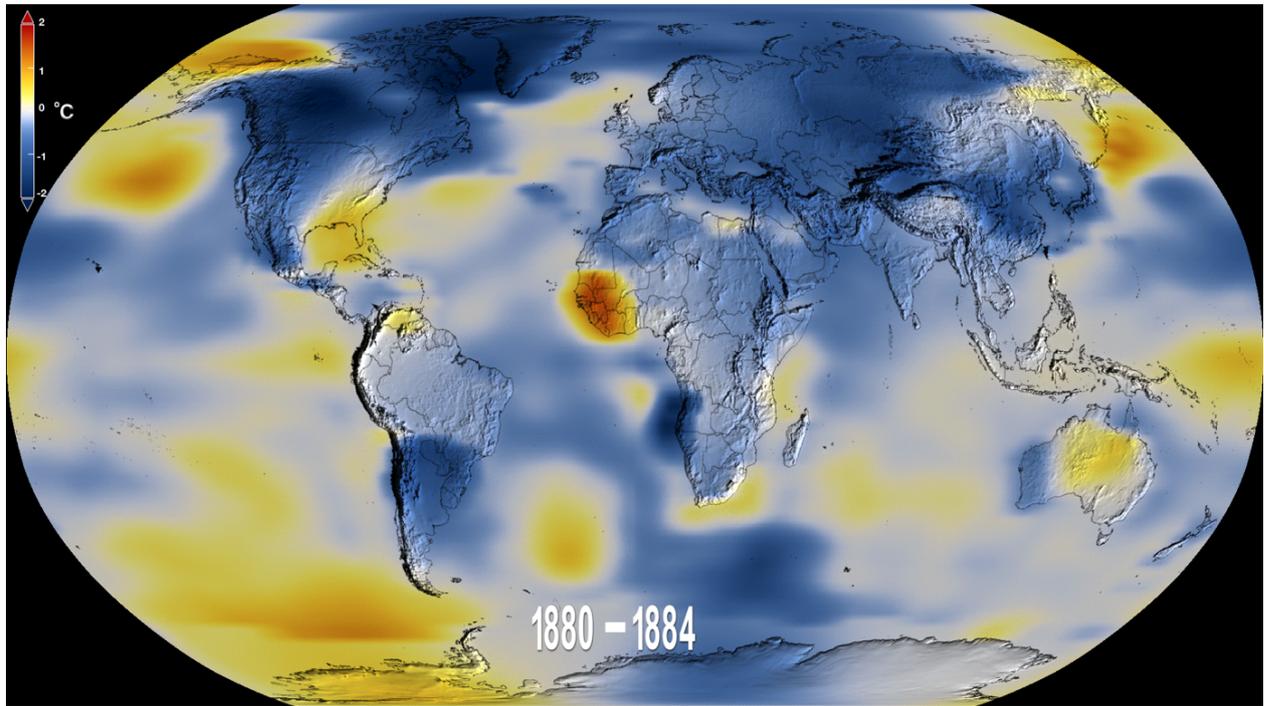
271. Watts, J. 2020, « Alarm as Arctic sea ice not yet freezing at latest date on record. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/world/2020/oct/22/alarm-as-arctic-sea-ice-not-yet-freezing-at-latest-date-on-record>. 29/10/2020.
272. Watts, J., Blight, G., McMullan, Gutiérrez, P. 2019, « Half a century of dither and denial – a climate crisis timeline.», in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2019/oct/09/half-century-dither-denial-climate-crisis-timeline>. 5/12/2020.
273. Werner, K., Fritz, M., Morata, N., Keil; K., Pavlov, A., Peeken, I., Nikolopoulos, A., Findlay, H.S., Kędre, M., Majaneva, S., Renner, A., Hendricks, S., Jacquot, M., Nicolaus, M., O'Regan, M., Sampei, M., Wegner, C. 2016, « Arctic in Rapid Transition: Priorities for the future of marine and coastal research in the Arctic. », in *Elsevier*, en ligne. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1873965216300196>. 23/10/2020.
274. Whiteman, G., Hope, C., Wadhams, P. 2013, « Vast costs of Arctic change. », in *Nature*, en ligne. <https://www.nature.com/articles/499401a#ref-CR6>. 02/12/2020.
275. Wilks, J., Polonskaya, G. 2020, « Special report : What's really happening in the Arctic and Siberia? », in *Euronews*, en ligne. <https://www.euronews.com/2020/08/17/special-report-what-s-really-happening-in-the-arctic-and-siberia>. 22/12/2020.
276. Willis, K. 2019, « Coastal communities losing ground on climate change planning, study shows. », in *Phys Org*, en ligne. <https://phys.org/news/2019-02-coastal-ground-climate.html>. 14/12/2020.
277. Wolken, J.M., Rupp, T.S., Trainor, S.F., Sullivan; P.F., Euskirchen, E.S., Beever, E.A., D'Amore, D.V., Hanley, T.A., Kruse, J.J., Schuur, E.A.G., Yarie, J., Kielland, K., Patterson, T., Verbyla, D.L. Fresco, N., Crone, L.K., Conn, J.S., Hennon, P.E., McGuire, A.D., Barret, T.M., Chapin III, F.S., Hollingsworth, T. 2011, « Evidence and Implications of Recent and Projected Climate Change in Alaska's Forest Ecosystems. », in *Researchgate*, en ligne. https://www.researchgate.net/publication/236843365_Evidence_and_Implications_of_Recent_and_Projected_Climate_Change_in_Alaska%27s_Forest_Ecosystems. 16/10/2020.
278. Woolf, N. 2016, « Alaskan village votes on whether to relocate because of climate change. », in *The Guardian*, en ligne. <https://www.theguardian.com/environment/2016/aug/16/alaska-town-shishmaref-vote-climate-change-relocation>. 11/12/2020.
279. WWF. 2012, « Prirazlomnaya oil spill would threaten Russian Arctic with irreparable disaster: study. », in *WWF*, en ligne. <https://wwf.panda.org/?205938/Prirazlomnaya-->. 17/12/2020.
280. WWF. 2020, « Oil Spills. », in *WWF*, en ligne. <https://arcticwwf.org/work/governance/acscorecard19/action/oil/>. 15/12/2020.
281. Yardon, S. 2018, « Alaska Refuge Can't Protect its Wildlife from Climate Change. », in *National Geographic*, en ligne. <https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/09/plastics-birds-climate-change-alaska-news/>. 22/10/2020.
282. Yu, G., Schwartz, Z., Walsh, J.E. 2009, « Effects of Climate Change on the Seasonality of Weather for Tourism in Alaska. », en ligne, 15 pages. <http://pubs.aina.ucalgary.ca/arctic/Arctic62-4-443.pdf>. 6/12/2020.
283. Президент России. 2020, « Совещание о мерах по ликвидации разлива дизельного топлива в Красноярском крае. », in *Официальные сетевые ресурсы Президента России*, en ligne. <http://kremlin.ru/events/president/news/63450>. 17/12/2020.
284. РБК. 2020, « Greenpeace объяснил резкое увеличение оценки ущерба от ЧП в Норильске. », in РБК, en ligne. <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5ed935b49a7947c1448869b5>. 26/12/2020.
285. Росгидромет. 2020, « доклад об особенностях климата на территории российской федерации за 2019 год. », en ligne, 97 pages. <https://meteoinfo.ru/images/news/2020/03/12/o-klimat-rf-2019.pdf>. 22/12/2020.

ANNEXES

Annexe 1 : Augmentation des températures.....	I
Annexe 2 : Comparaison TAS Arctique et globale.	II
Annexe 3 : Étendue de glace de mer dans le bassin Arctique.....	III
Annexe 4 : Age glace de mer.	IV
Annexe 5 : Quantité de carbone dans les trois premiers mètres du sol.	V
Annexe 6 : Les zones de yedoma.....	VI
Annexe 7 : Le verdissement et le brunissement de l'Arctique.....	VII
Annexe 8 : Couverture de la glace de mer de la mer des Tchouktches.....	VIII
Annexe 9 : Permafrost terrestre et sous-marin.	IX
Annexe 10 : Températures moyennes au-dessus de l'Arctique.....	X
Annexe 11 : CGM plus détaillée des mers de la Sibérie.....	XI
Annexe 12 : Comparaison des périodes où l'Océan Arctique a été praticable.	XII
Annexe 13 : Risques pour les infrastructures d'ici 2041-2060.	XIII
Annexe 14 : Émissions de GES en Alaska.....	XIV
Annexe 15 : Carte des sites de mines.....	XV
Annexe 16 : Mine de Pebble.....	XVI
Annexe 17 : Carte des champs pétroliers du versant nord de l'Alaska.....	XVII
Annexe 18 : Trans-Alaska Pipeline System.....	XVIII
Annexe 19 : Projet de gazoduc.....	XIX
Annexe 20 : Transport en Alaska.....	XX
Annexe 21 : Tourisme en Alaska.....	XXI
Annexe 22 : Thermosiphons autour du TAPS.....	XXII
Annexe 23 : infrastructures Humaines sur des zones de permafrost.....	XXIII
Annexe 24 : Carte des risques combinés.....	XXIV
Annexe 25 : mines en Sibérie.....	XXVI
Annexe 26 : Neige noire.....	XXVII
Annexe 27 : Pipelines Sibérie.....	XXVIII
Annexe 28 : Cartographies des routes en Russie.....	XXIX
Annexe 29 : Routes de glace dans la république de Sakha.....	XXX
Annexe 30 : La fuite de pétrole de Nornickel.....	XXXI
Annexe 31 : Infrastructures humaines subissant le dégelé du permafrost.....	XXXII

Annexe 1 : Augmentation des températures

Progression des températures par rapport à la valeur moyenne de 1951 à 1980. Au plus la zone tire vers le rouge, au plus celle-ci s'est réchauffée.

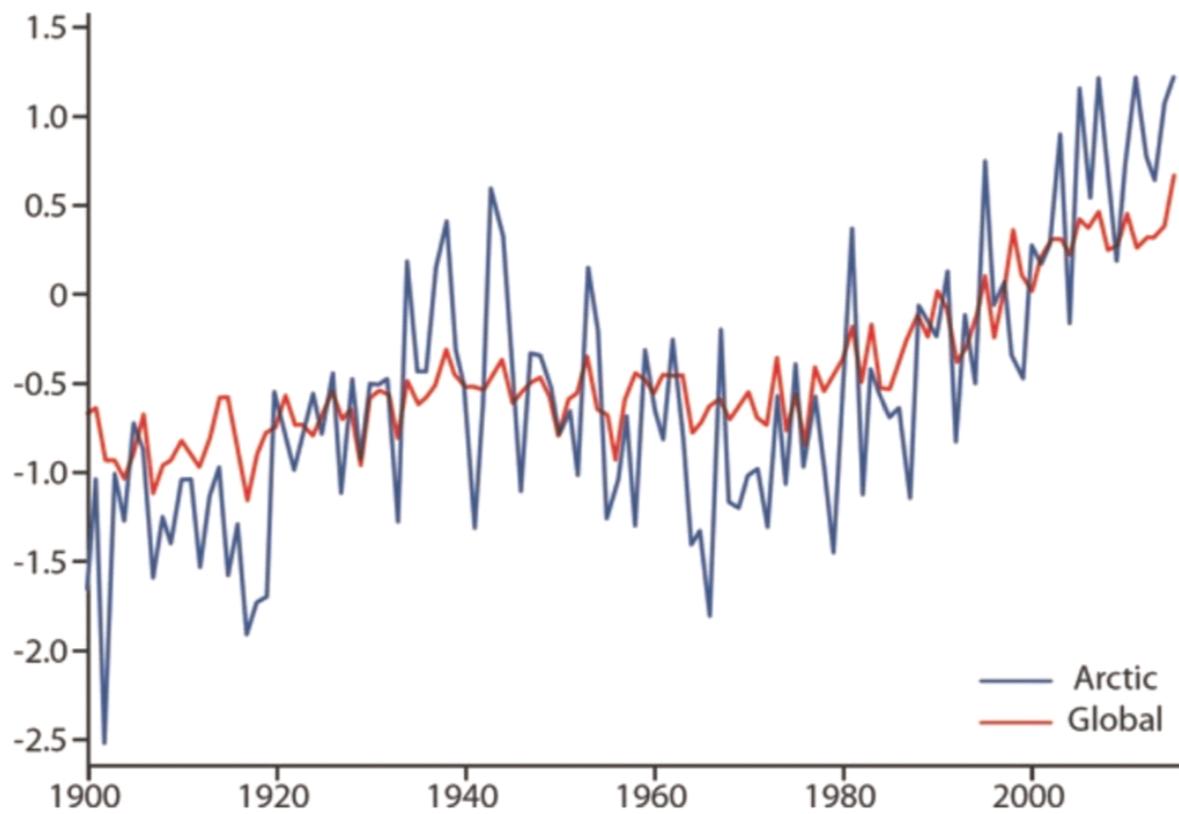


(Perkins, L., 2020)

Annexe 2 : Comparaison TAS Arctique et globale.

Schéma comparatif entre les anomalies annuelles par rapport à la valeur moyenne de 1981 à 2010.

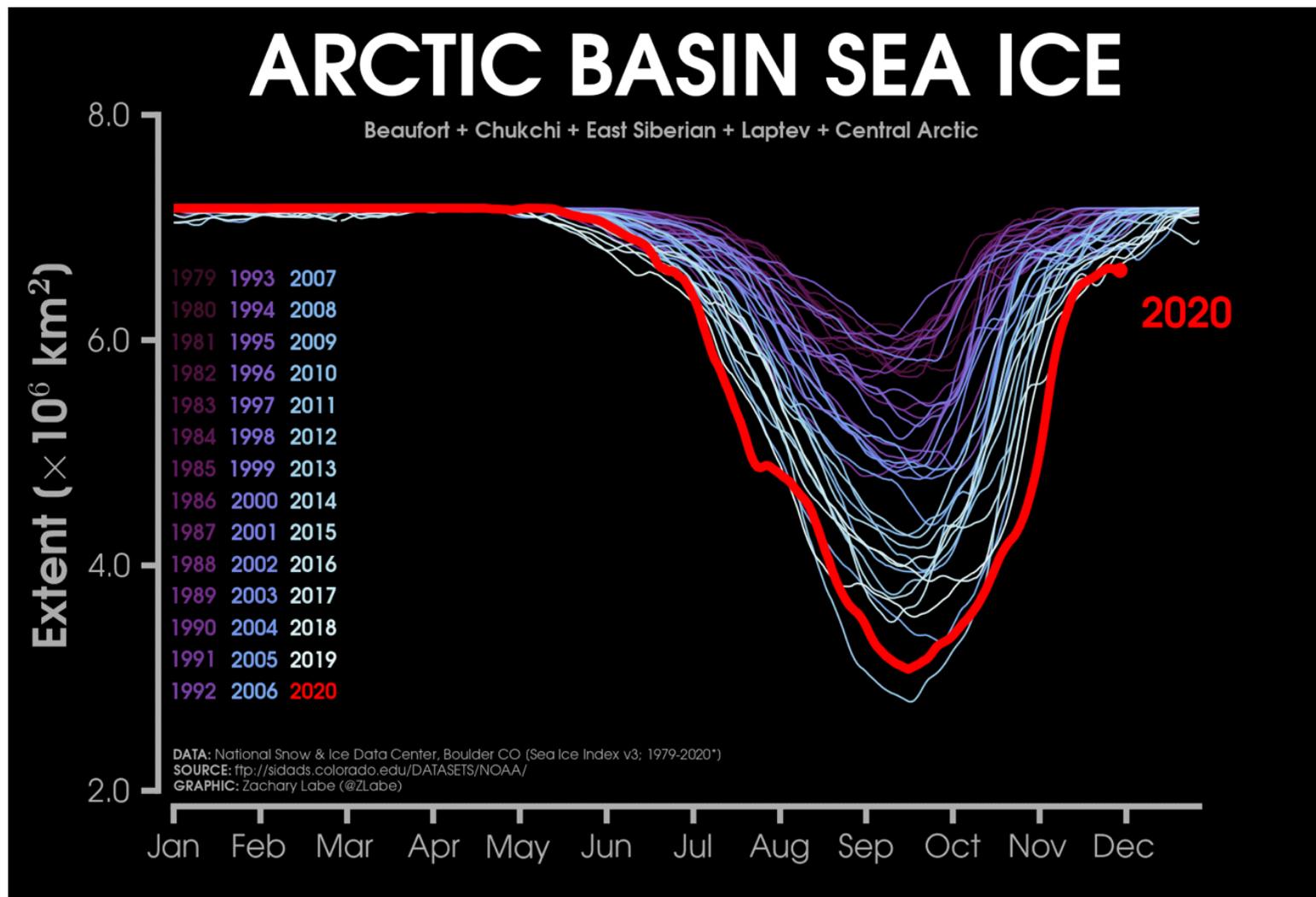
La ligne bleue représente l'évolution de la température en Arctique. La Ligne rouge représente l'évolution de la température pour le globe.



(van Huissteden, J., 2020)

Annexe 3 : Étendue de glace de mer dans le bassin Arctique

Schéma montrant l'évolution de l'étendue de glace de mer pour le bassin arctique de 1979 jusqu'à 2020.

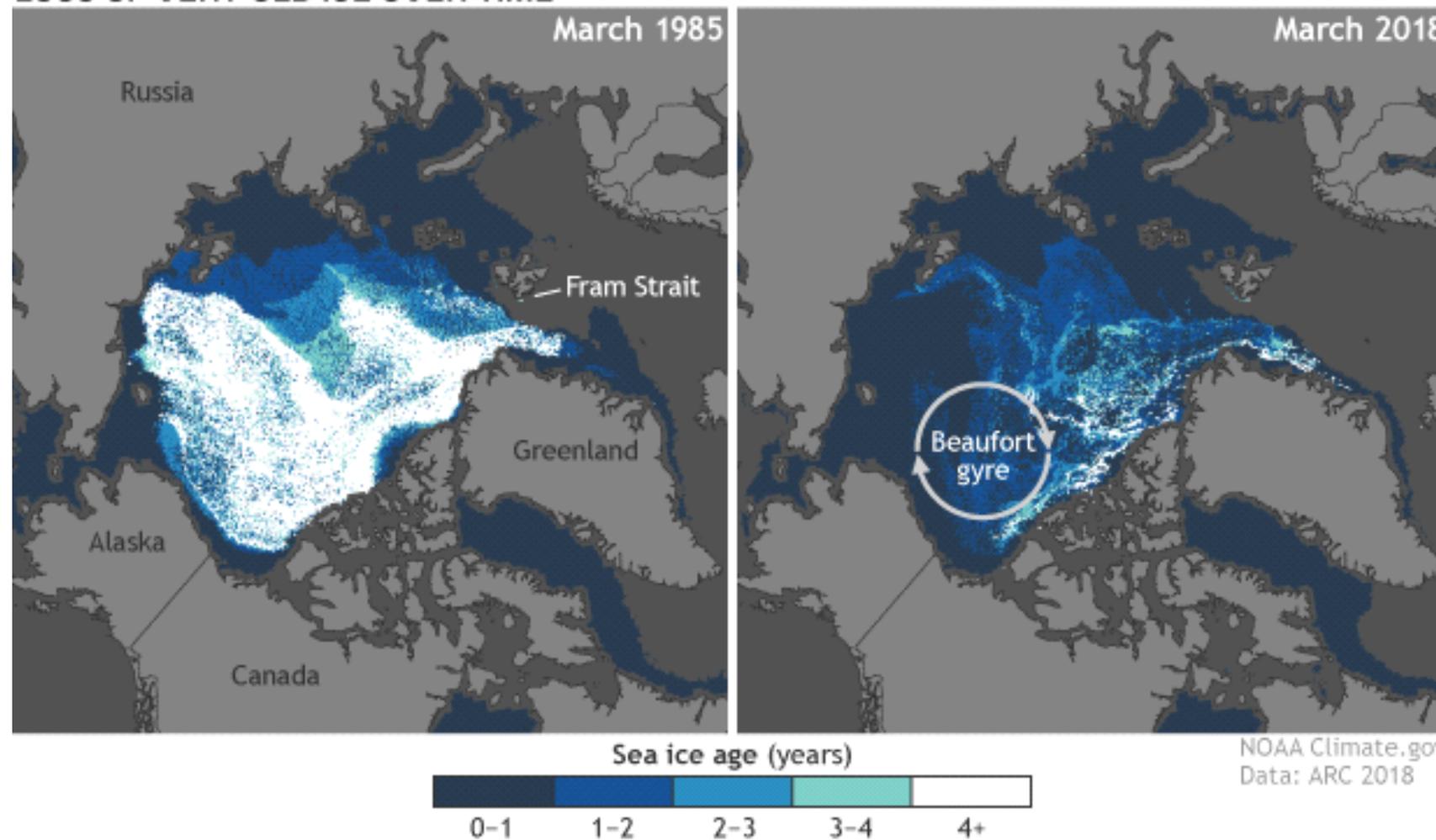


(Labe, Z., 2020)

Annexe 4 : Age glace de mer.

Schématisation de l'âge de la couverture de glace de mer. Au plus la zone est foncée, au plus jeune est la glace de mer.

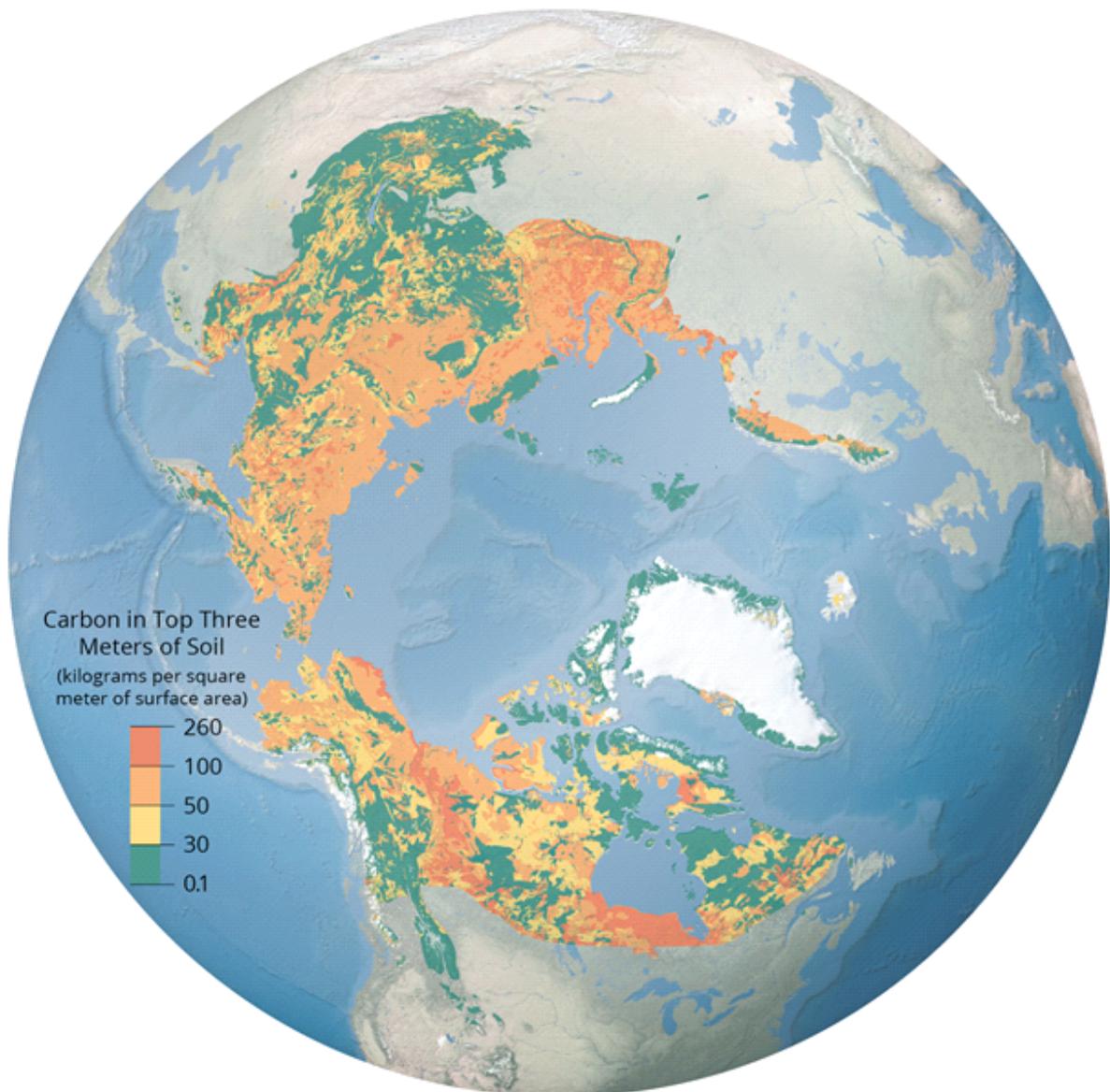
LOSS OF VERY OLD ICE OVER TIME



(Lindsey, R., Scott, M., 2020)

Annexe 5 : Quantité de carbone dans les trois premiers mètres du sol.

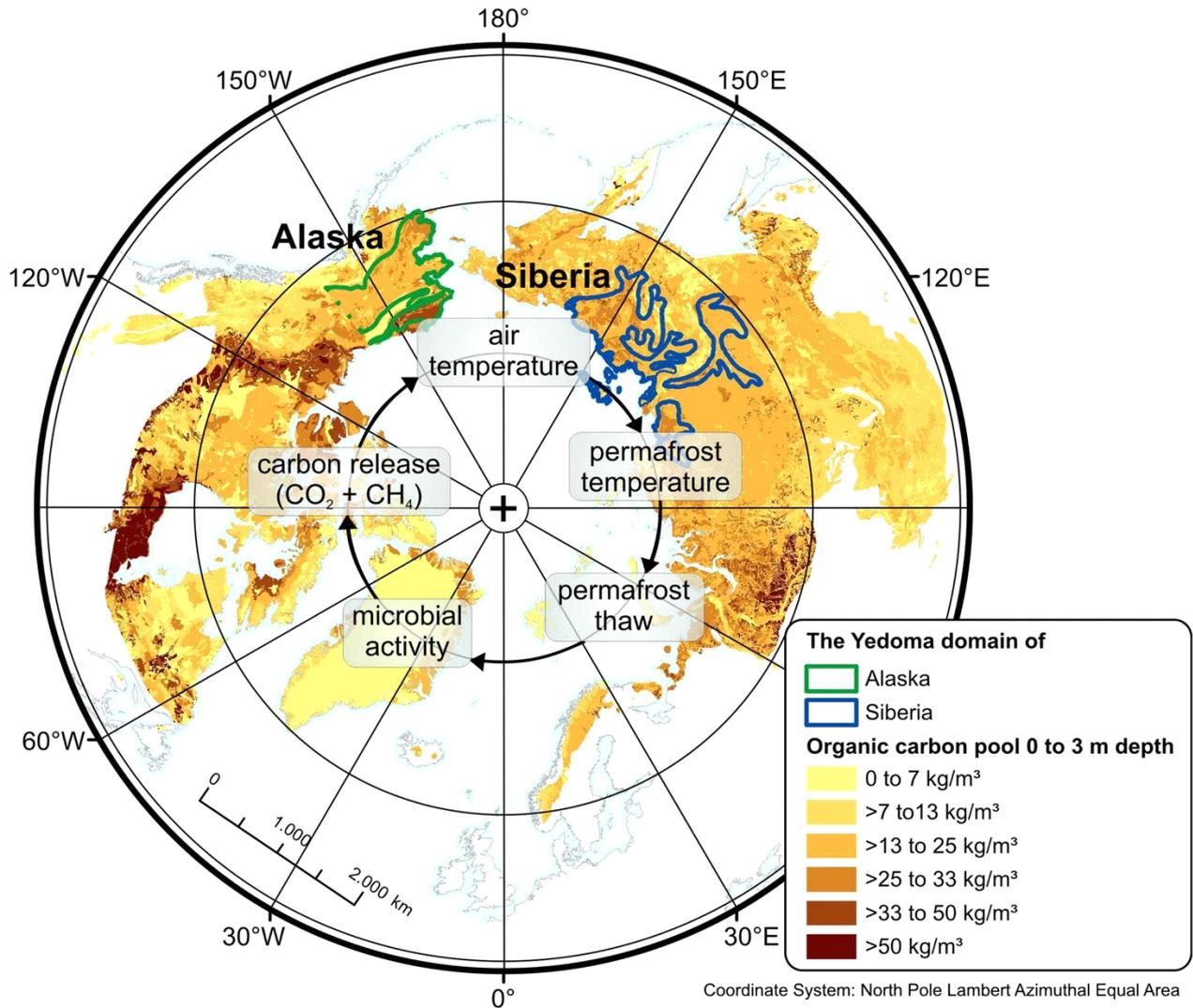
Schématisation des bassins de carbone organique du sol. Plus une zone est orange, plus la quantité de Kg par mètre carré est élevée.



(Richter-Menge, J., et al., 2019)

Annexe 6 : Les zones de yedoma

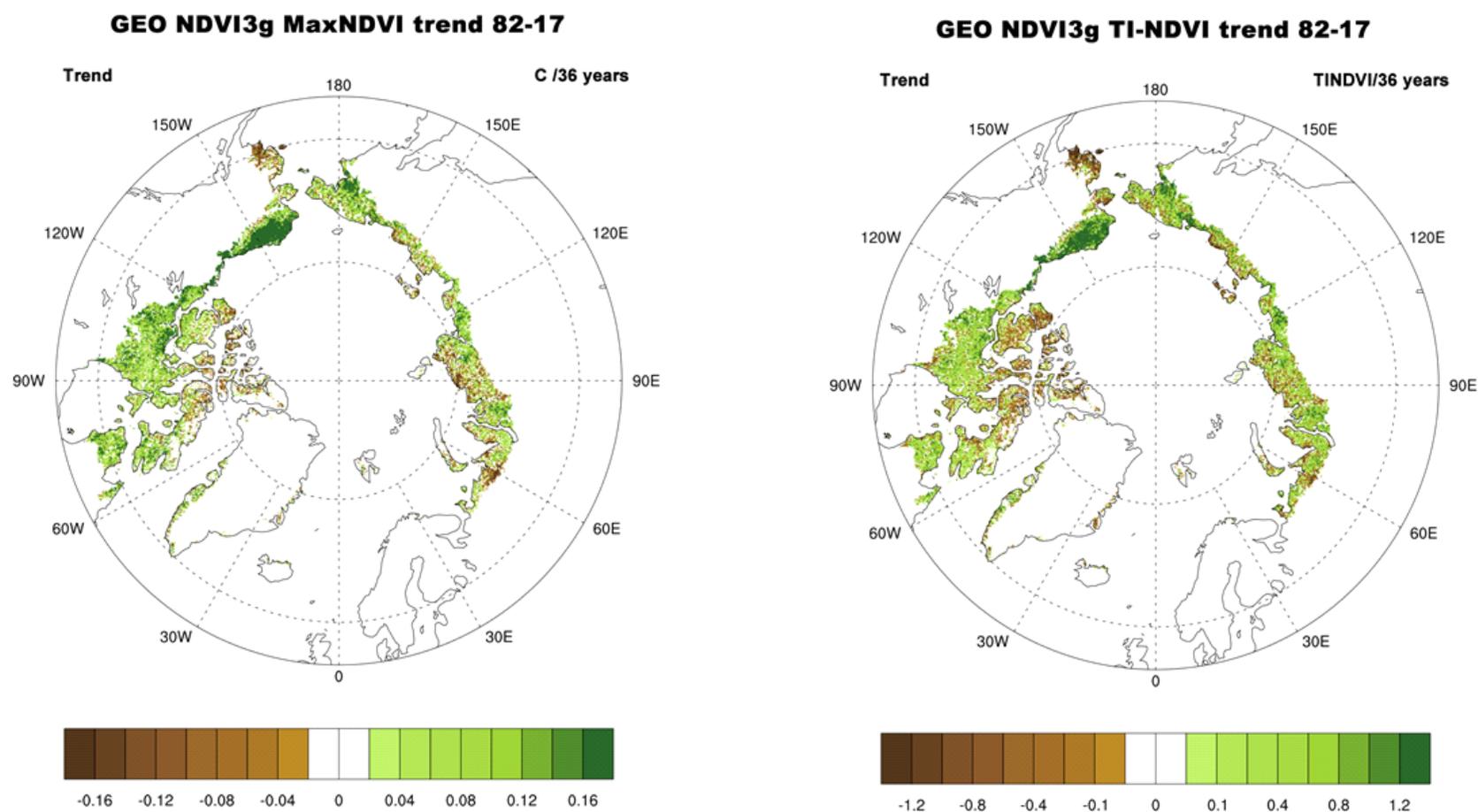
Schématisation des domaines potentiels de gisements de Yedoma ainsi que d'autres formes de dépôts formés suite à la dégradation de Yedoma (ex. des thermokarsts). La zone entourée de vert représente le Yedoma présent en Alaska, la limite de la présence de Yedoma à l'est de l'Alaska est floue et donc représentée par une ligne pointillée. La zone entourée de bleu représente le Yedoma présent en Sibérie.



(Strauss, J., et al., 2017)

Annexe 7 : Le verdissement et le brunissement de l'Arctique

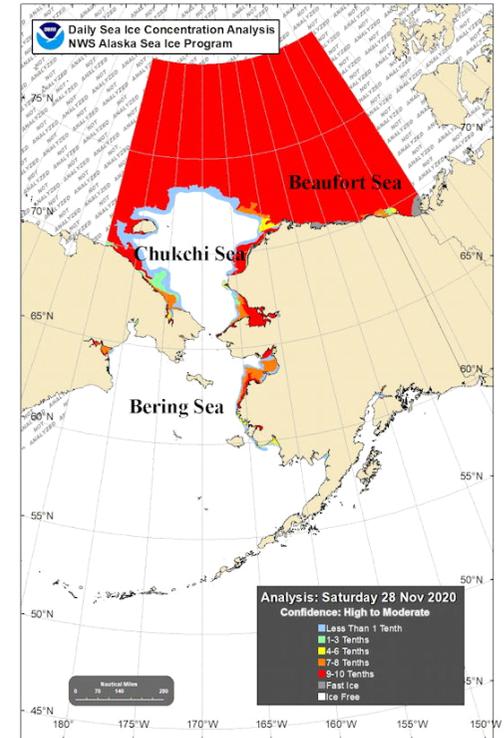
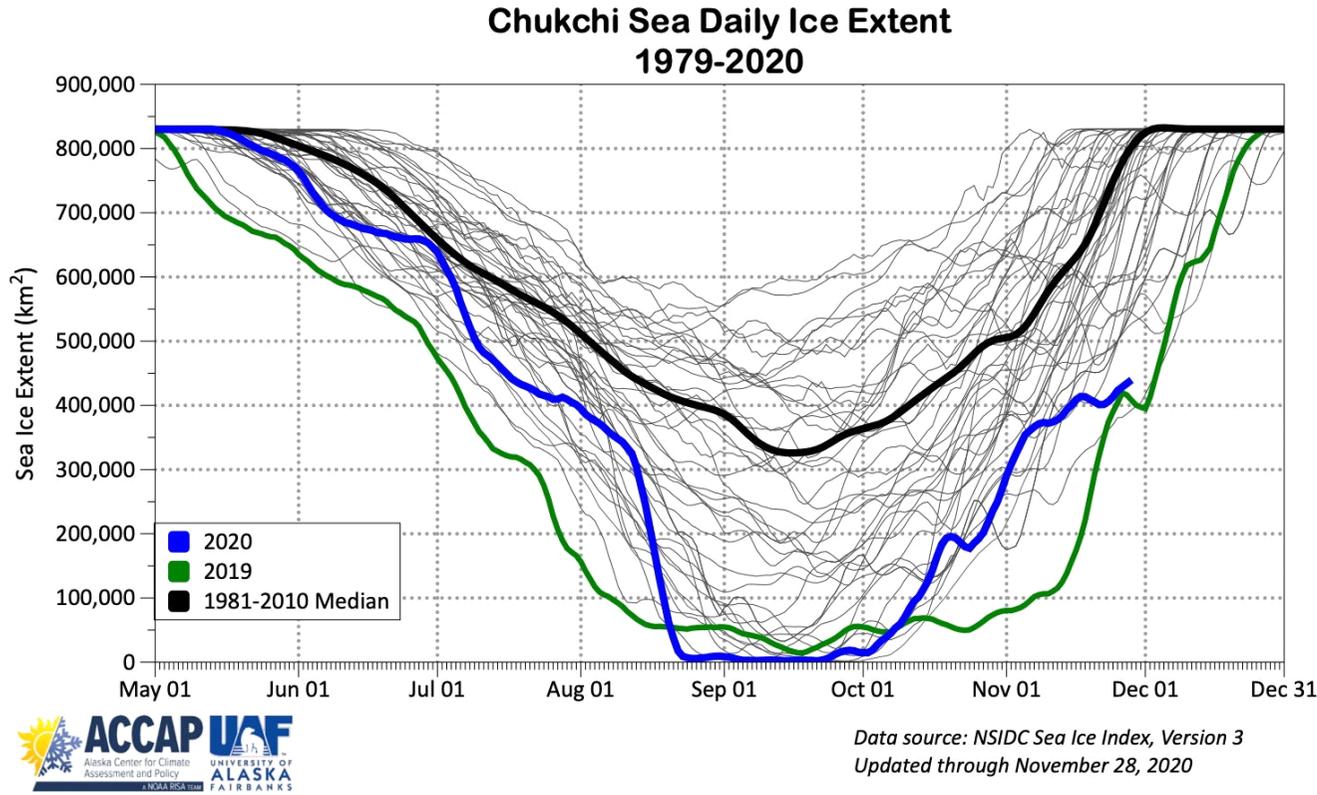
Tendance générale pour la période 1982-2017 du MAXNDVI (Maximum Normalized Difference Vegetation Index) à gauche et du TI-NDVI (Time-Integrated Normalized Difference végétation Index) à droite



(Epstein, H., et al 2018)

Annexe 8 : Couverture de la glace de mer de la mer des Tchouktches.

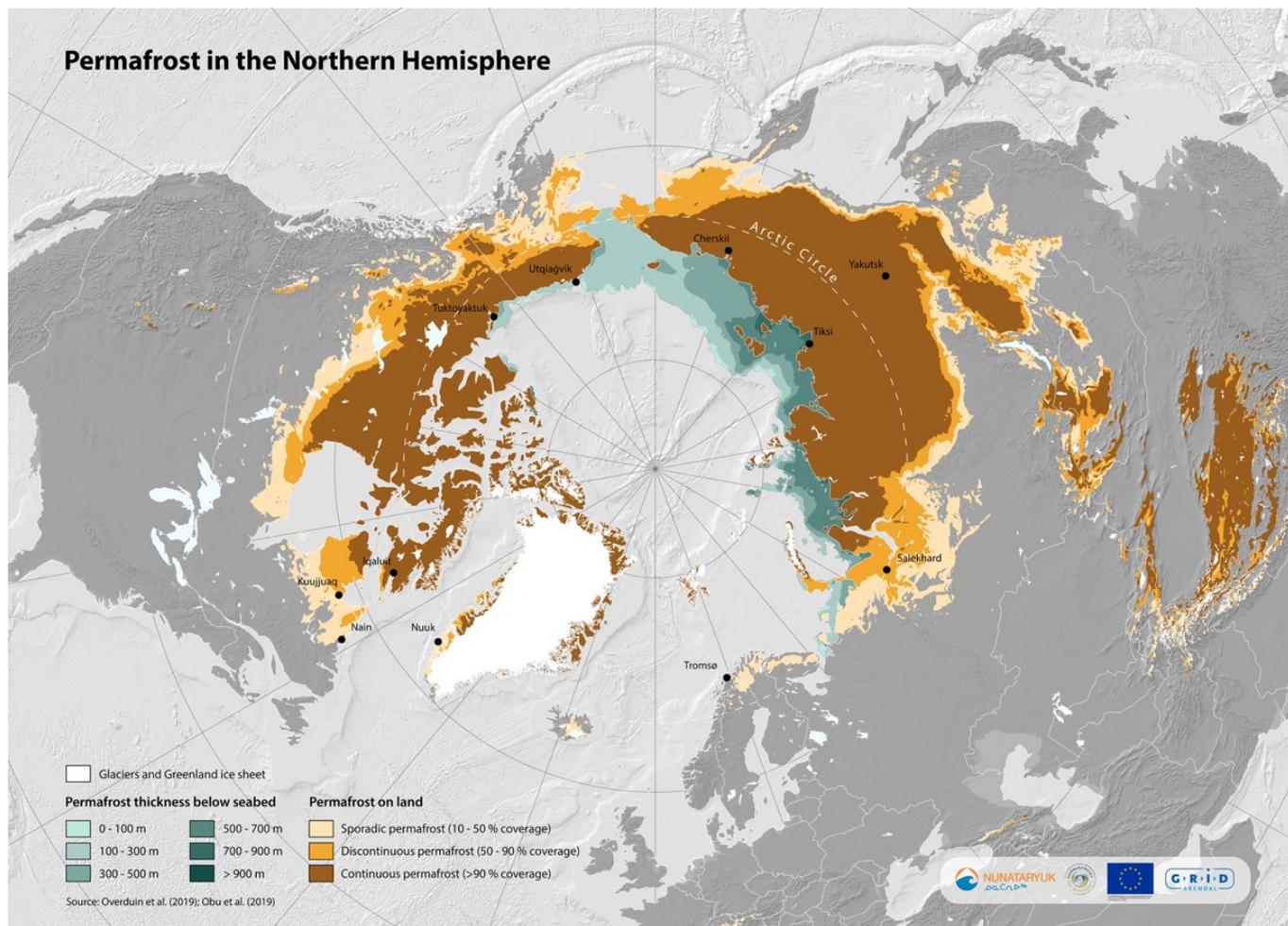
Schématisation de la couverture de la CGM. La ligne noire représente la moyenne de la CGM de 1981 à 2010. La ligne verte représente la CGM pour 2019 et la ligne bleue représente la CGM pour 2020 (jusqu'au 1^{er} décembre)



(Thoman, R., 2020)

Annexe 9 : Permafrost terrestre et sous-marin.

Carte représentant l'étendue du permafrost dans l'hémisphère nord. Les teintes d'orange représentent le permafrost terrestre. Au plus la zone est foncée, au plus le permafrost est présent. Les zones en teinte bleue sont le permafrost sous-marin. Au plus la zone est foncée, au plus le permafrost est profond.

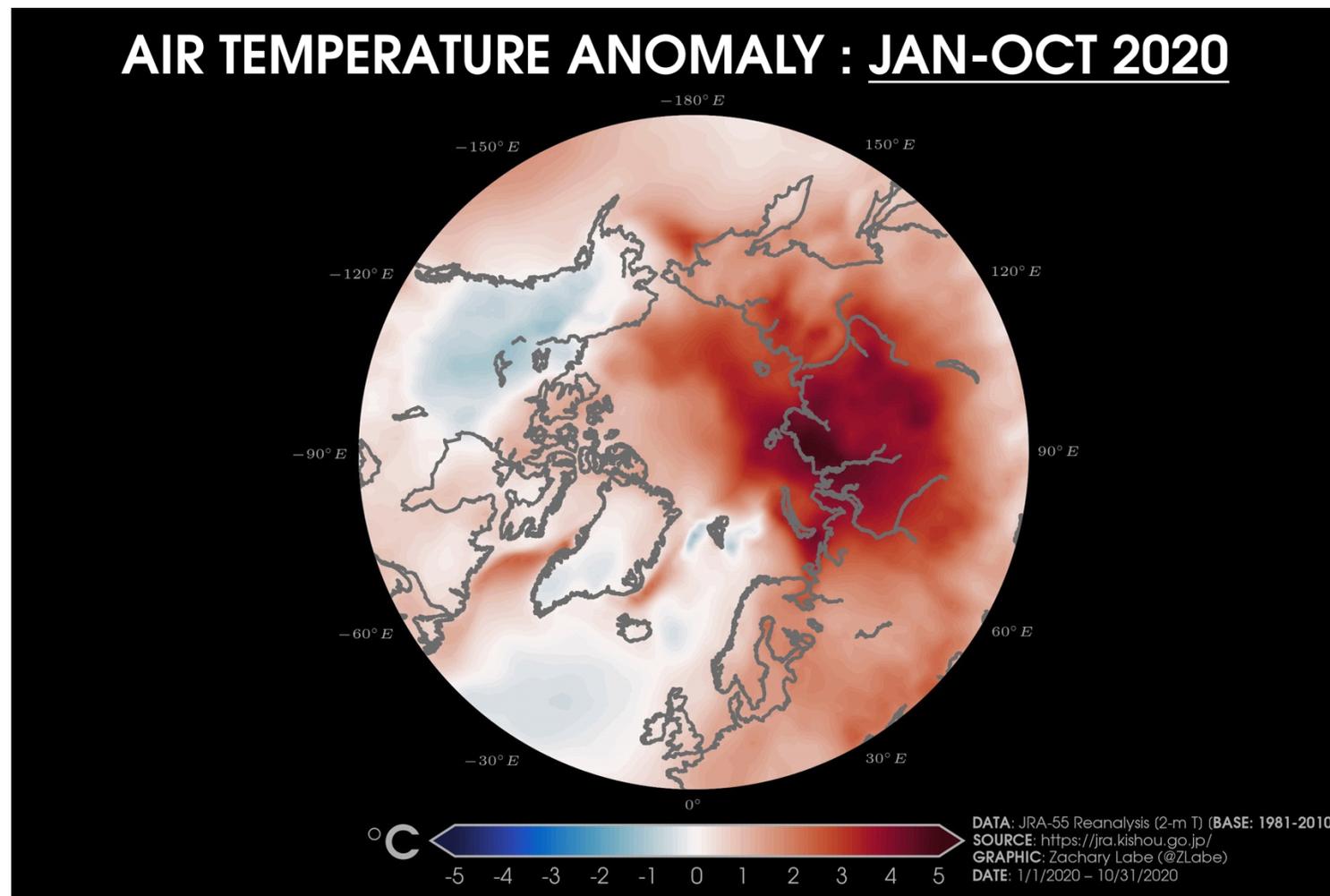


(GRID, 2020)

Annexe 10 : Températures moyennes au-dessus de l'Arctique

Représentation des températures moyennes de janvier à octobre 2020 en comparaison à la moyenne de 1981 à 2010.

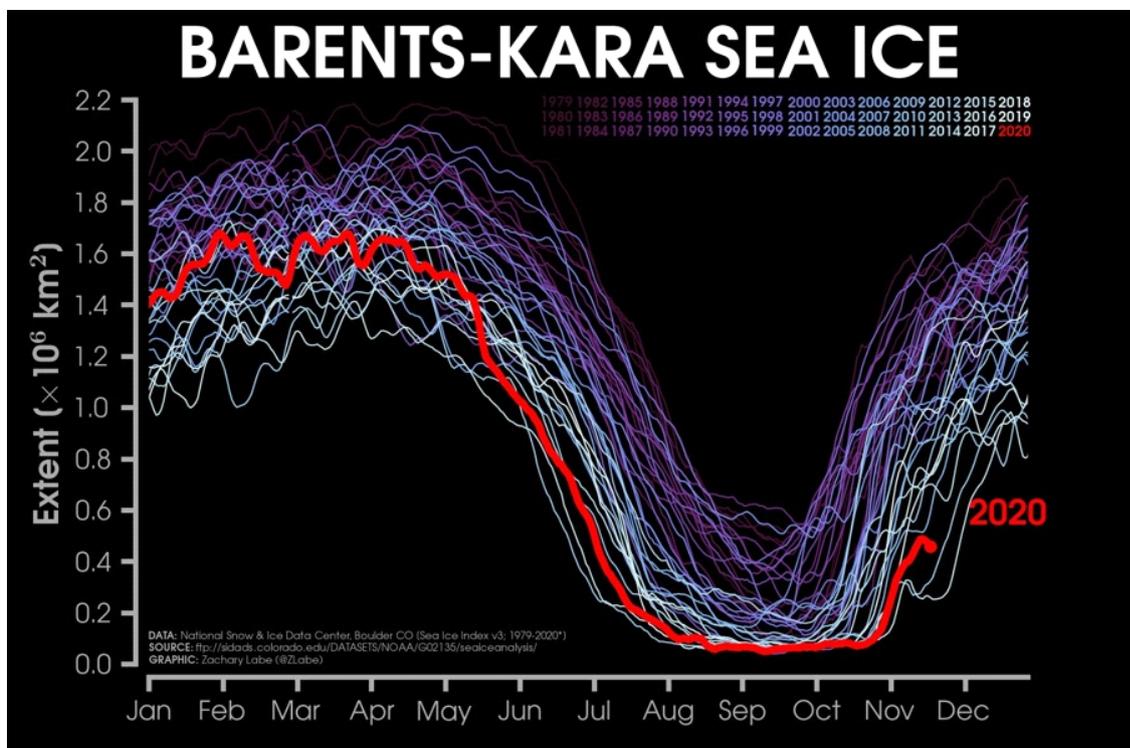
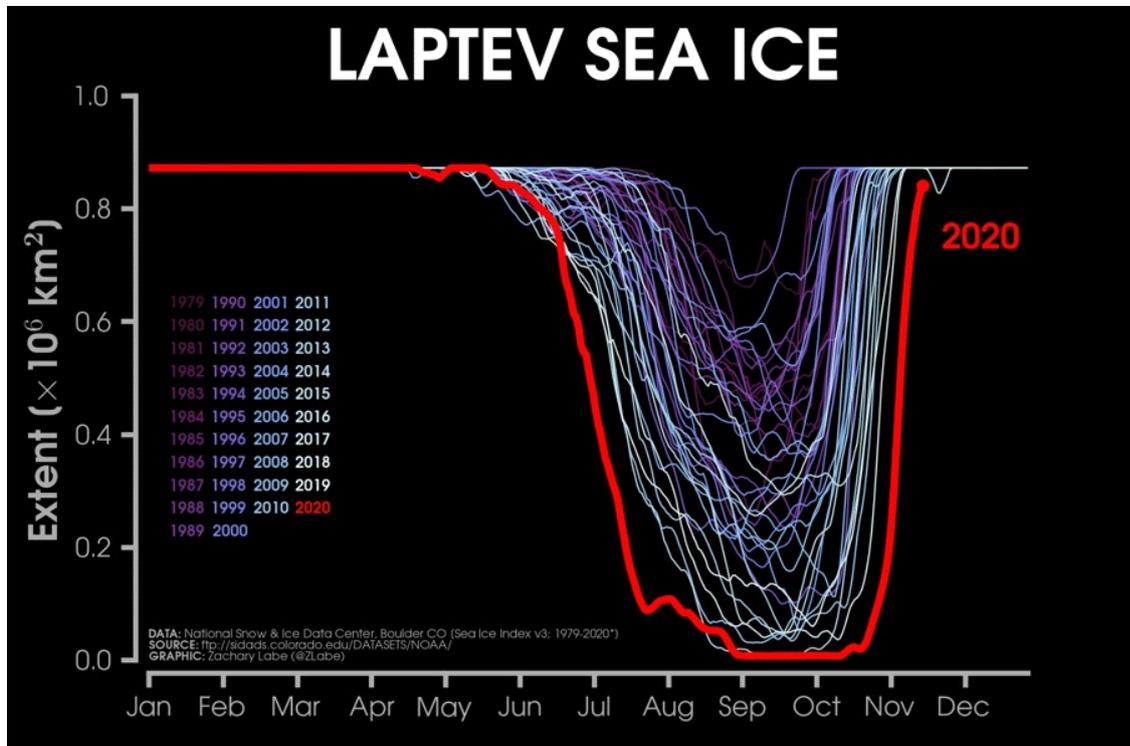
Au plus une zone est rouge foncé, au plus elle a subi une augmentation des TAS



(Labe, Z., 2020)

Annexe 11 : CGM plus détaillée des mers de la Sibérie.

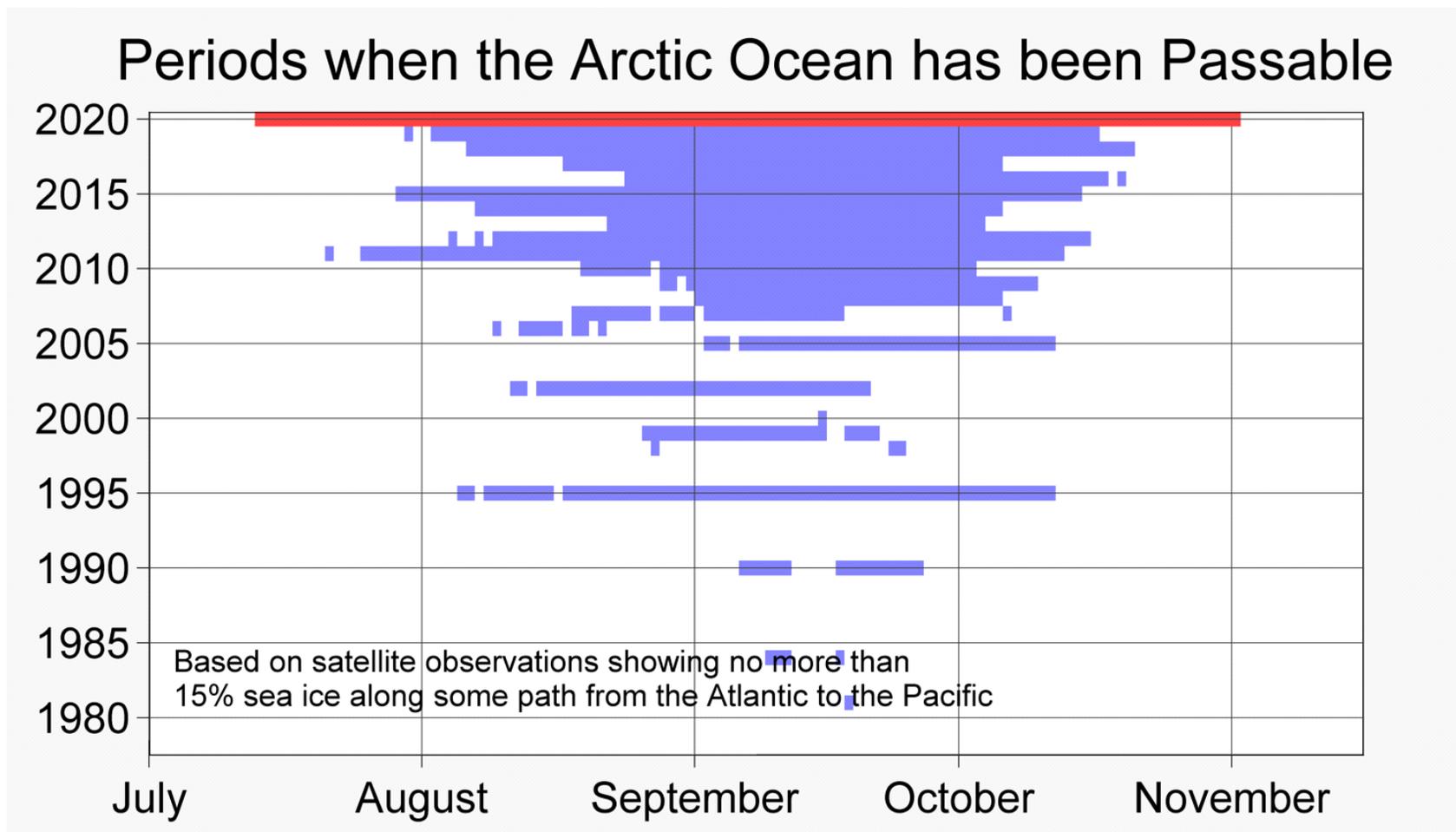
Schématisation des mers entourant la Sibérie. La ligne rouge représente la moyenne de la CGM en 2020. Le Schéma du haut représente la CGM pour la mer de Laptev, celui du milieu pour les mers de Barents et Kara.



(Labe, Z., 2020)

Annexe 12 : Comparaison des périodes où l'Océan Arctique a été praticable.

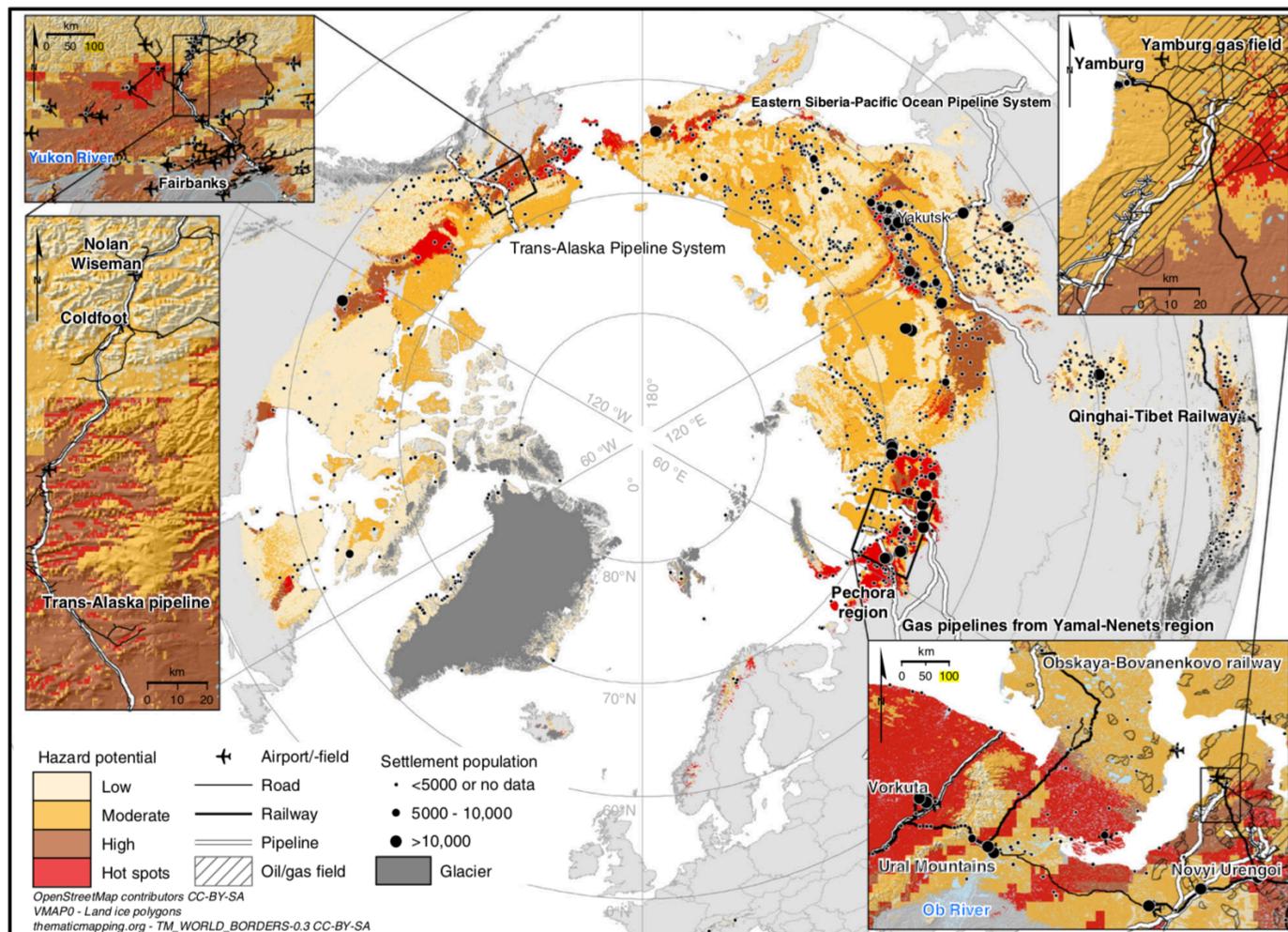
Schématisation des périodes de 1980 à 2020 où le passage de l'Océan Atlantique à l'Océan Pacifique a été navigable. Ces observations sont faites sur base d'observations satellites où il y a moins de 15% de glace de mer le long de la voie navigable.



(Rohde, R., 2020)

Annexe 13 : Risques pour les infrastructures d'ici 2041-2060.

Schématisation par niveau de risques liés aux infrastructures dans la zone Arctique. Au plus une zone tire vers le rouge, plus les infrastructures sont vulnérables face aux risques d'ici le milieu du siècle, 2041-2060.

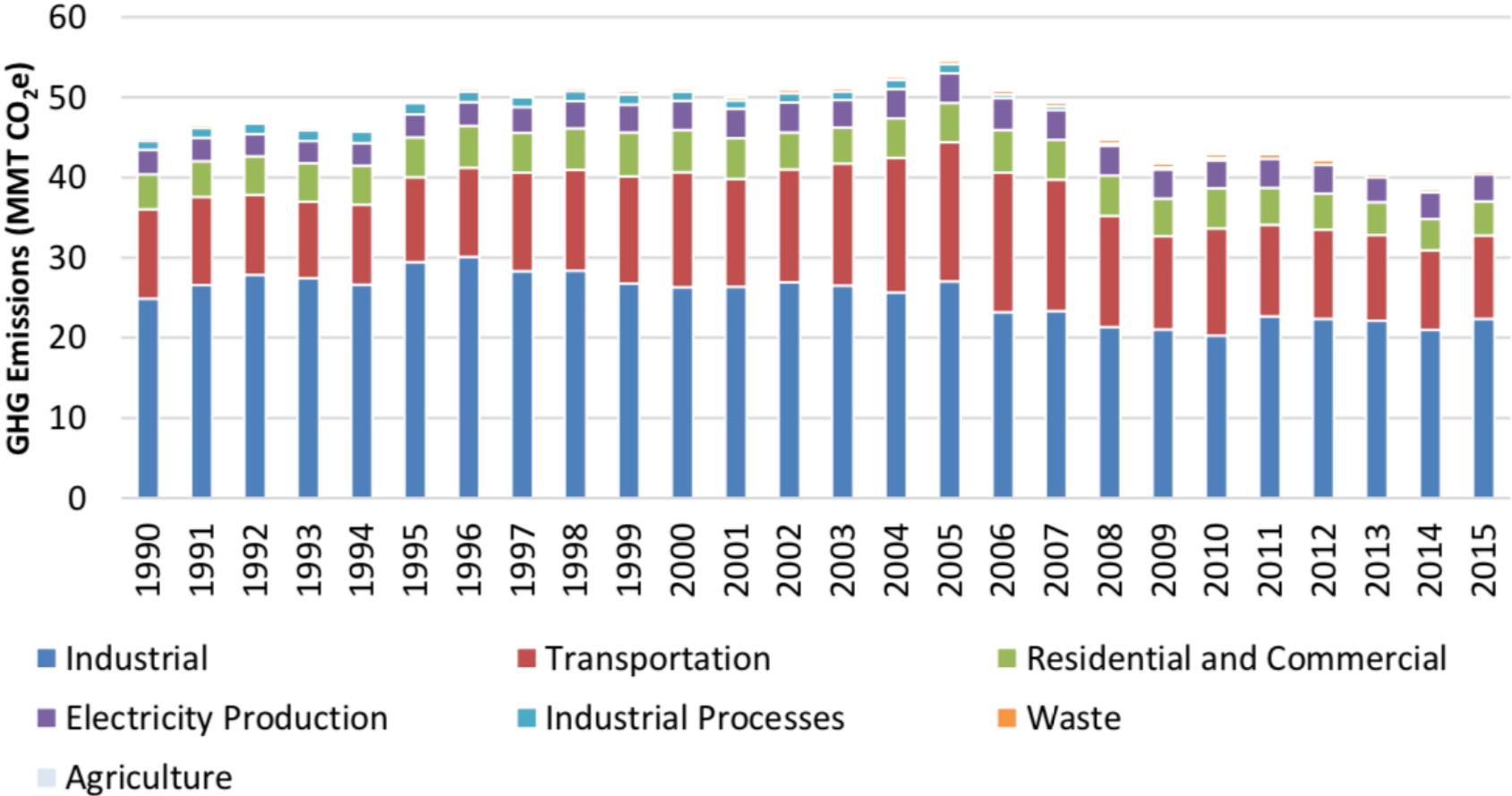


(Hjort, J., et al., 2018)

Annexe 14 : Émissions de GES en Alaska

Diagramme à barre représentant les évolutions des émissions de GES annuelles de 1990 à 2015 en fonction des différentes industries présentes en Alaska.

Exhibit A: 1990 – 2015 Alaska Gross Annual Greenhouse Gas Emissions



(Alaska Department of Environmental Conservation, 2018)

Annexe 15 : Carte des sites de mines

Carte représentant les différentes mines en Alaska. Les étoiles rouges symbolisent les mines qui sont exploitées. Les triangles bleus représentent les projets en attente d'autorisations. Les points verts représentent les projets d'explorations à un stade avancé. Quant aux points jaunes, ils représentent les communautés dont une partie des membres travaillent pour l'industrie minière.



(McDowell Group. 2018)

Annexe 16 : Mine de Pebble

Carte représentant le projet de la mine de Pebble

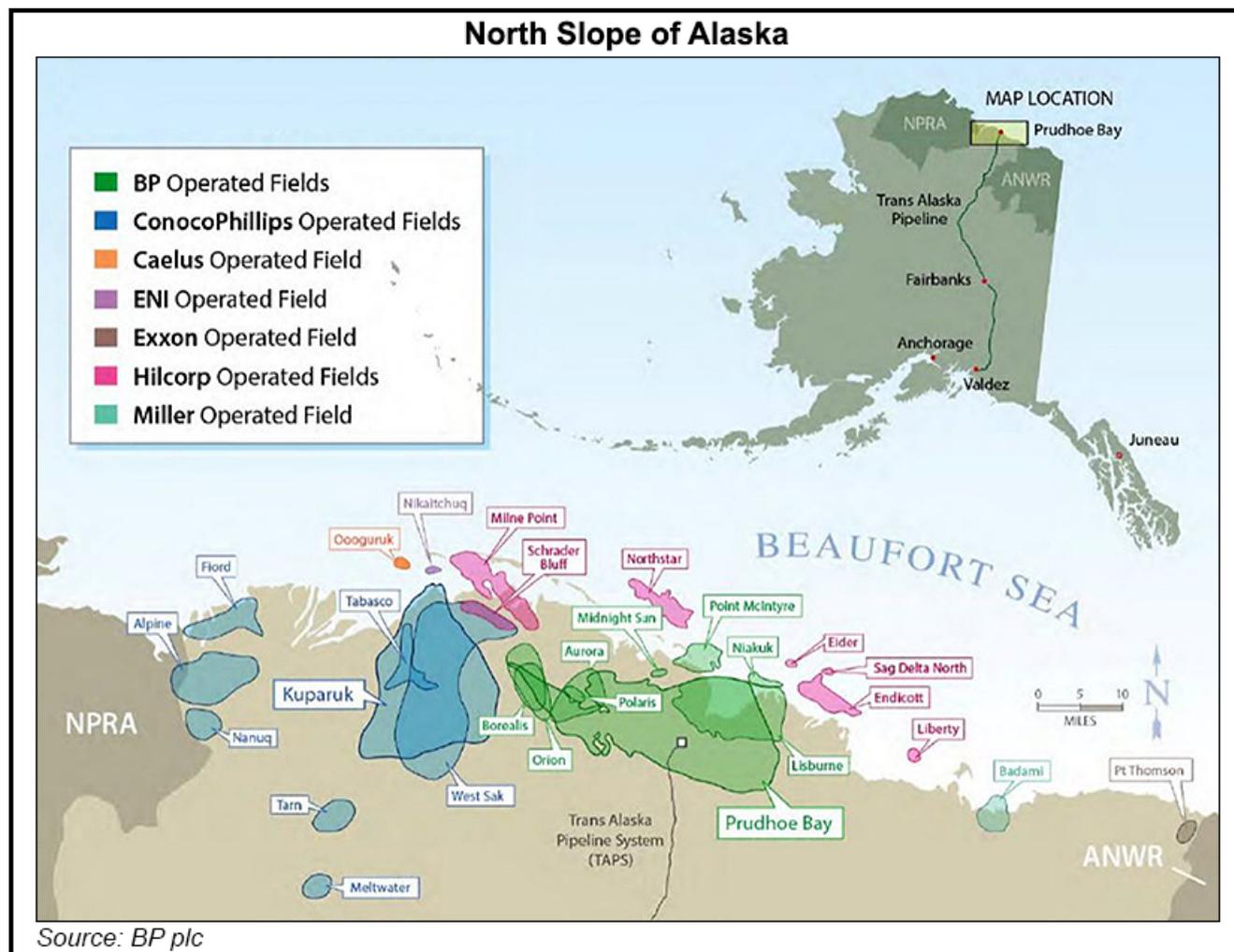
Mining claims



Sources: Pebble Partnership; Alaska Department of Natural Resources
(Main, D., 2020)

Annexe 17 : Carte des champs pétroliers du versant nord de l'Alaska.

Carte du versant nord de l'Alaska représentant les champs pétroliers exploités par les différentes entreprises de recherches, d'extractions, de raffinages et de ventes de pétrole



Source: BP plc

(Davis, C., 2019)

Annexe 18 : Trans-Alaska Pipeline System.

Carte représentant l'oléoduc de l'Alaska depuis Prudhoe Bay dans le nord jusqu'au port de Valdez



(Sherval, M., 2013)

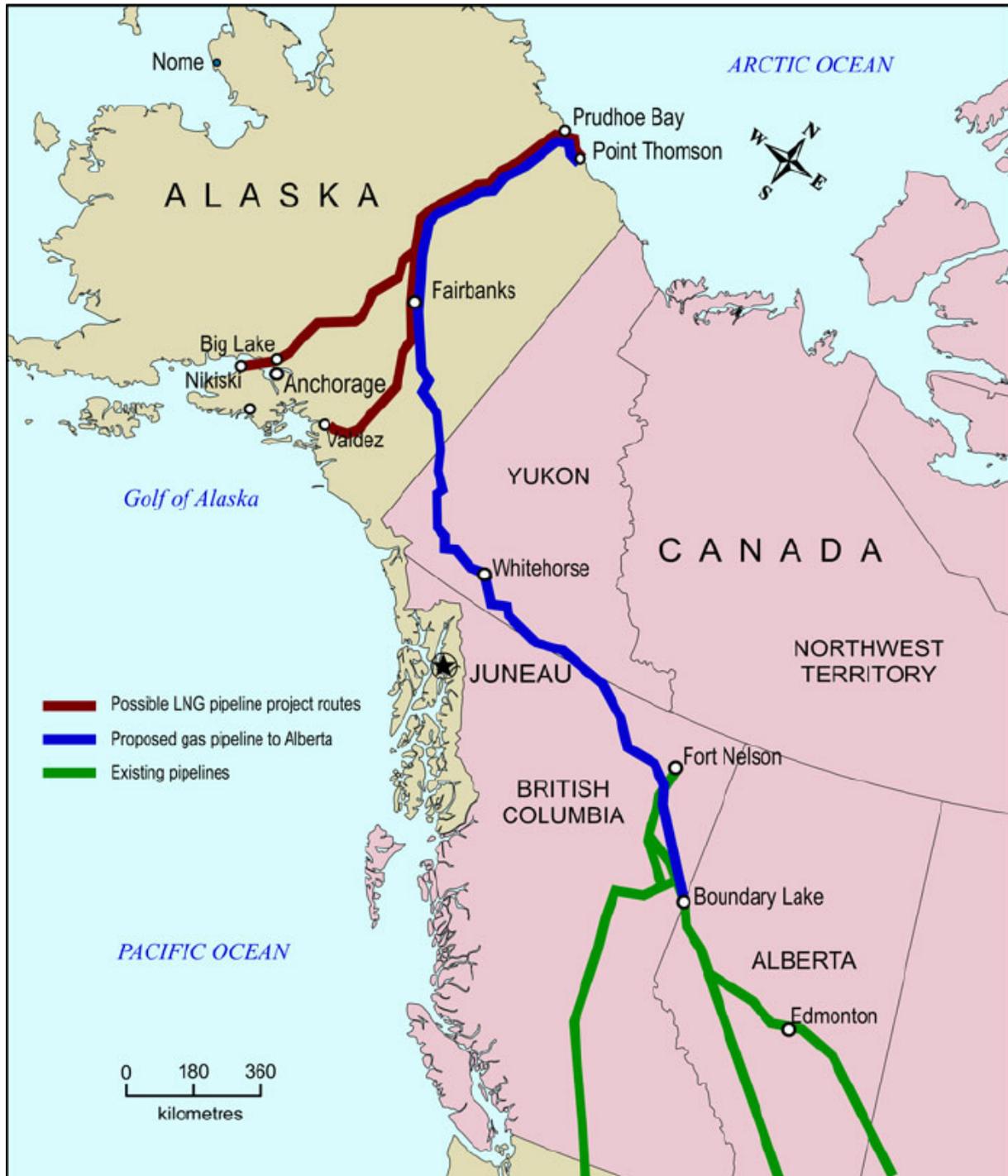
Photo du TAPS



(Herz, N., 2020)

Annexe 19 : Projet de gazoduc

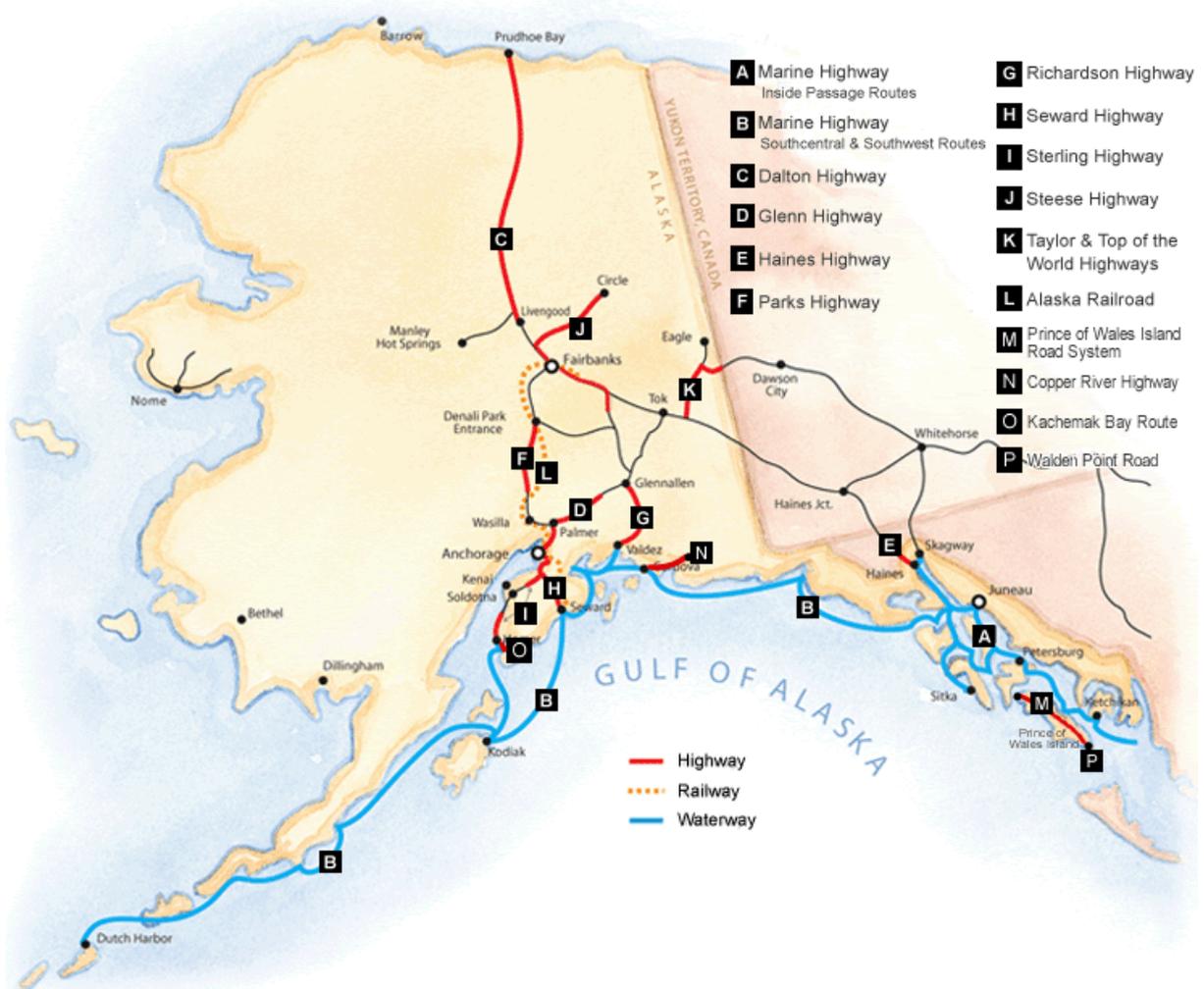
Carte représentant le projet du gazoduc partant du nord de l'Alaska jusqu'au Canada. La ligne rouge représente le TAPS ainsi qu'un possible nouvel oléoduc. La ligne bleue représente le projet de l'oléoduc. Les lignes vertes représentent les pipelines déjà existants.



(Sherval, M., 2013)

Annexe 20 : Transport en Alaska

Cartes représentant les différents modes de transports terrestres et marins. Les lignes rouges représentent les autoroutes. Les lignes noires représentent les routes. La ligne orange pointillée représente le chemin de fer. Les lignes bleues représentent la voie navale.

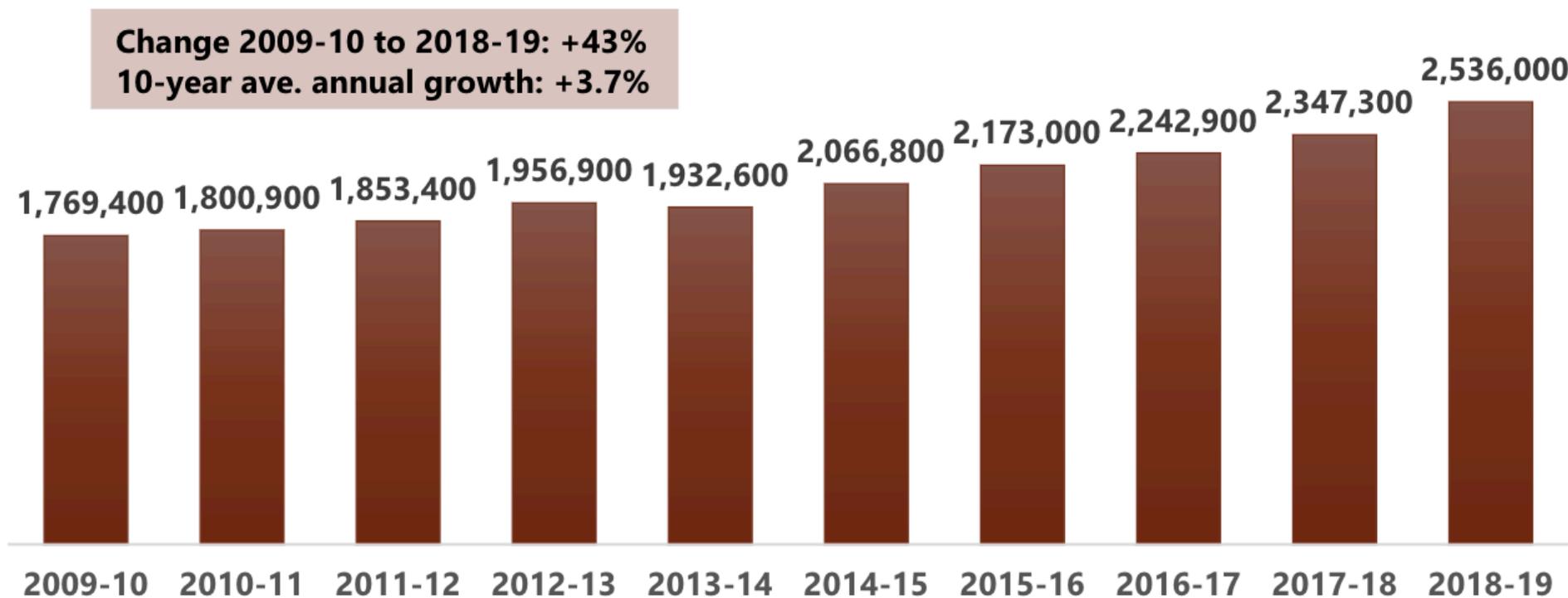


(Alaska public lands information centers, 2020)

Annexe 21 : Tourisme en Alaska

Diagramme à barre représentant les évolutions du nombre de touristes en Alaska de 2009 jusqu'en 2019.

Chart 7. Annual Alaska Visitor Volume, 2009-10 to 2018-19



Source: AVSP 6 and 7. Note that these numbers differ from previously reported annual estimates due to a change from a May-to-April study period to an October-to-September study period.

(McDowwel Group, 2020)

Annexe 22 : Thermosiphons autour du TAPS



(Carlton, J., 2009)

Annexe 23 : infrastructures Humaines sur des zones de permafrost

Photos du village de Shishmaref en Alaska subissant les conséquences du changement climatique



(Sheppard, K., 2014)

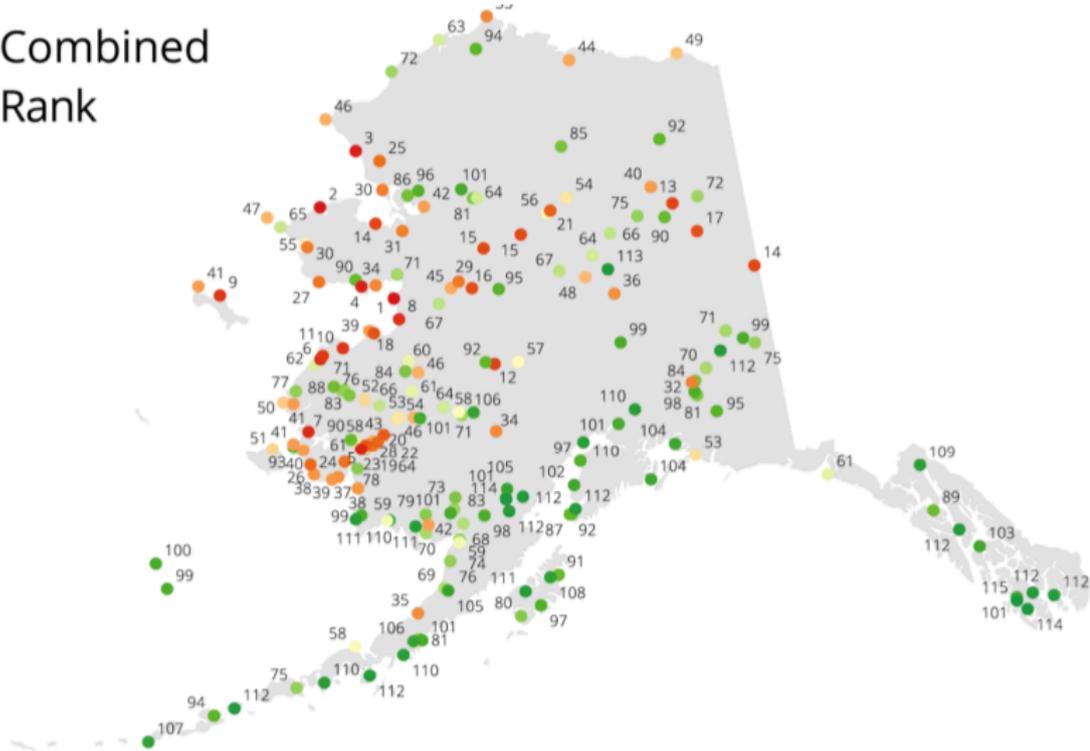
Cimetière dans le village de Quinhagak en Alaska



(Ralston, M., in Reuters, 2019)

Annexe 24 : Carte des risques combinés

Combined Rank



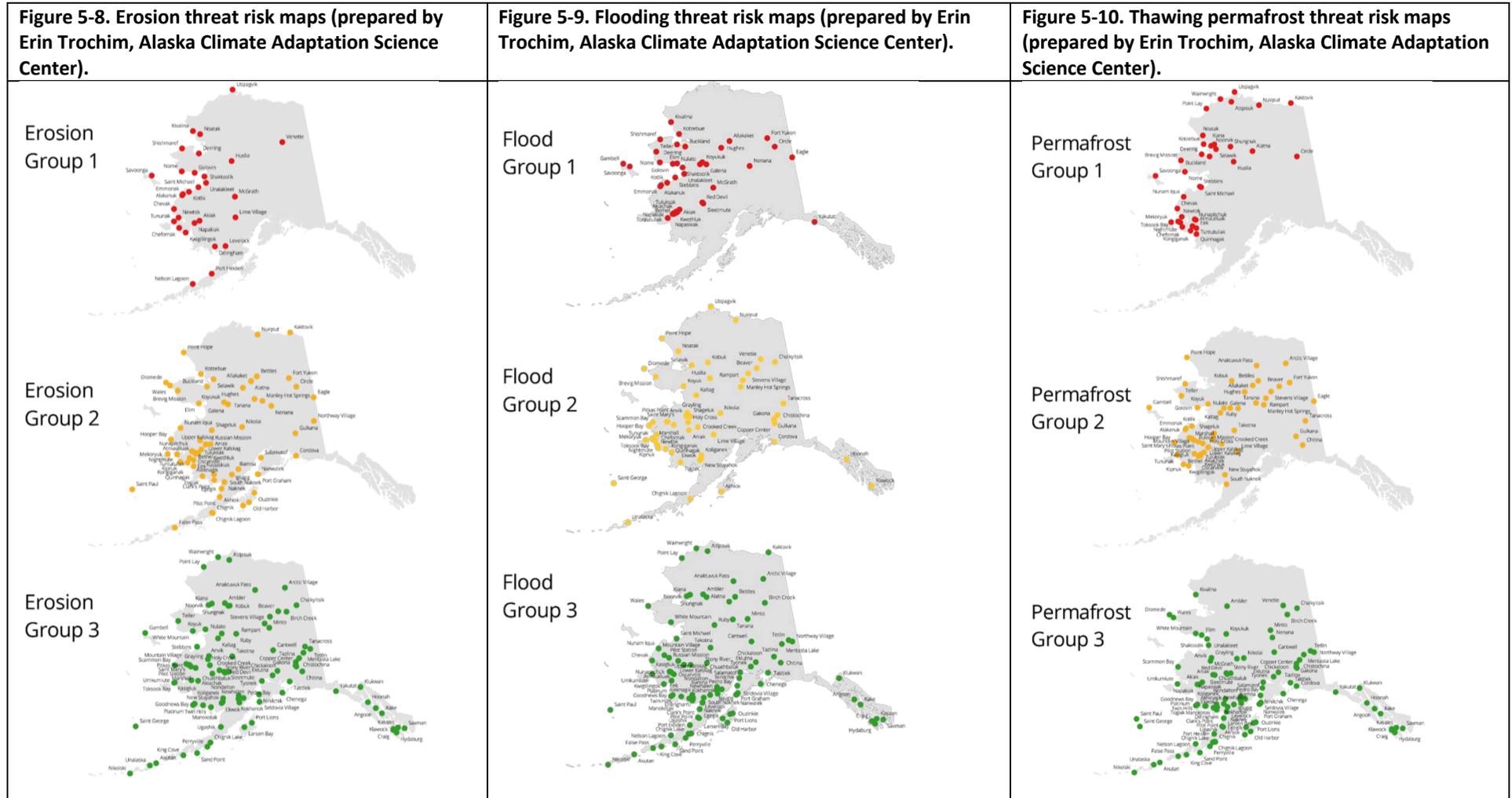
Community Ranking

- | | | | | | |
|---------------------|-------------------------------|--|--|---|--|
| ● 1 Shaktoolik | ● 22 Akiak | ● 43 Akiachak | ● 63 Wainwright | ● 83 Koliganek, Pilot Station | ● 102 Ninilchik |
| ● 2 Shishmaref | ● 23 Napaskiak | ● 44 Nuiqsut | ● 64 Crooked Creek, Kobuk, Oscarville, Rampart | ● 84 Anvik, Gakona | ● 103 Kake |
| ● 3 Kivalina | ● 24 Chefornak | ● 45 Nulato | ● 65 Wales | ● 85 Anaktuvuk Pass | ● 104 Chenega, Tatitlek |
| ● 4 Golovin | ● 25 Noatak | ● 46 Aniak, Point Hope, Shageluk | ● 66 Russian Mission, Stevens Village | ● 86 Noorvik | ● 105 Nondalton, Ugashik |
| ● 5 Napakiak | ● 26 Tuntutuliak | ● 47 Diomedes | ● 67 Kaltag, Tanana | ● 87 Port Graham | ● 106 Chignik Lake, Story River |
| ● 6 Alakanuk | ● 27 Nome | ● 48 Manley Hot Springs | ● 68 Levelock | ● 88 Mountain Village | ● 107 Nikolski |
| ● 7 Newtok | ● 28 Kwethluk | ● 49 Kaktovik | ● 69 Pilot Point | ● 89 Hoonah | ● 108 Port Lions |
| ● 8 Unalakleet | ● 29 Koyukuk | ● 50 Hooper Bay | ● 70 Chistochina, Clark's Point | ● 90 Birch Creek, Kasigluk, White Mountain | ● 109 Haines |
| ● 9 Savoonga | ● 30 Kotzebue, Teller | ● 51 Mekoryuk | ● 71 Koyuk, Saint Mary's, Sleetmute, Tanacross | ● 91 Ouzinkie | ● 110 Chickaloon, King Cove, Perryville, Twin Hills, Tyonek |
| ● 10 Kotlik | ● 31 Buckland | ● 52 Marshall | ● 72 Chalkyitsik, Point Lay | ● 92 Arctic Village, Nanwalek, Takotna | ● 111 Larsen Bay, Manokotak, Platinum |
| ● 11 Emmonak | ● 32 Gulkana | ● 53 Cordova, Lower Kalskag | ● 73 New Stuyahok | ● 93 Umkumiute | ● 112 Akutan, Angoon, Atka, Kasaan, Kokhanok, Mentasta Lake, Pedro Bay, Sand Point, Saxman, Seldovia Village |
| ● 12 McGrath | ● 33 Barrow | ● 54 Bettles, Upper Kalskag | ● 74 Naknek | ● 94 Atkasuk, Unalaska | ● 113 Minto |
| ● 13 Fort Yukon | ● 34 Elim, Lime Village | ● 55 Brevig Mission | ● 75 Beaver, False Pass, Northway Village | ● 95 Chitina, Ruby | ● 114 Hyaburg, Newhalen |
| ● 14 Deering, Eagle | ● 35 Port Heiden | ● 56 Alatna | ● 76 Egegik, Pitkas Point | ● 96 Kiana | ● 115 Craig |
| ● 15 Hughes, Huslia | ● 36 Nenana | ● 57 Nikolai | ● 77 Scammon Bay | ● 97 Old Harbor, Salamatof | |
| ● 16 Galena | ● 37 Kongiganak | ● 58 Nelson Lagoon, Nunapitchuk, Red Devil | ● 78 Eek | ● 98 Igiugig, Tazlina | |
| ● 17 Circle | ● 38 Kipnuk, Quinhagak | ● 59 South Naknek, Togiak | ● 79 Aleknagik | ● 99 Cantwell, Goodnews Bay, Saint George, Tetlin | |
| ● 18 Saint Michael | ● 39 Kwigillingok, Stebb | ● 60 Grayling | ● 80 Akhiok | ● 100 Saint Paul | |
| ● 19 Bethel | ● 40 Nightmute, Veneti | ● 61 Atmautluak, Holy Cross, Yakutat | ● 81 Chignik Lagoon, Copper Center, Shungnak | | |
| ● 20 Tuluksak | ● 41 Chevak, Gambell, Tununak | ● 62 Nunam Iqua | | | |
| ● 21 Allakaket | ● 42 Dillingham, Selawik | | | | |

(U.S. Army Corps of Engineers Alaska District, et al., 2019)

Suite annexe 24 : Cartes détaillées des zones à risques

Toutes les différentes zones et leurs vulnérabilités face à l'érosion, l'inondation et le dégel du permafrost. Le groupe 1 représente les communautés les plus vulnérables, le groupe 2 les communautés associées à une vulnérabilité modérée et le groupe 3 les communautés les moins vulnérables.

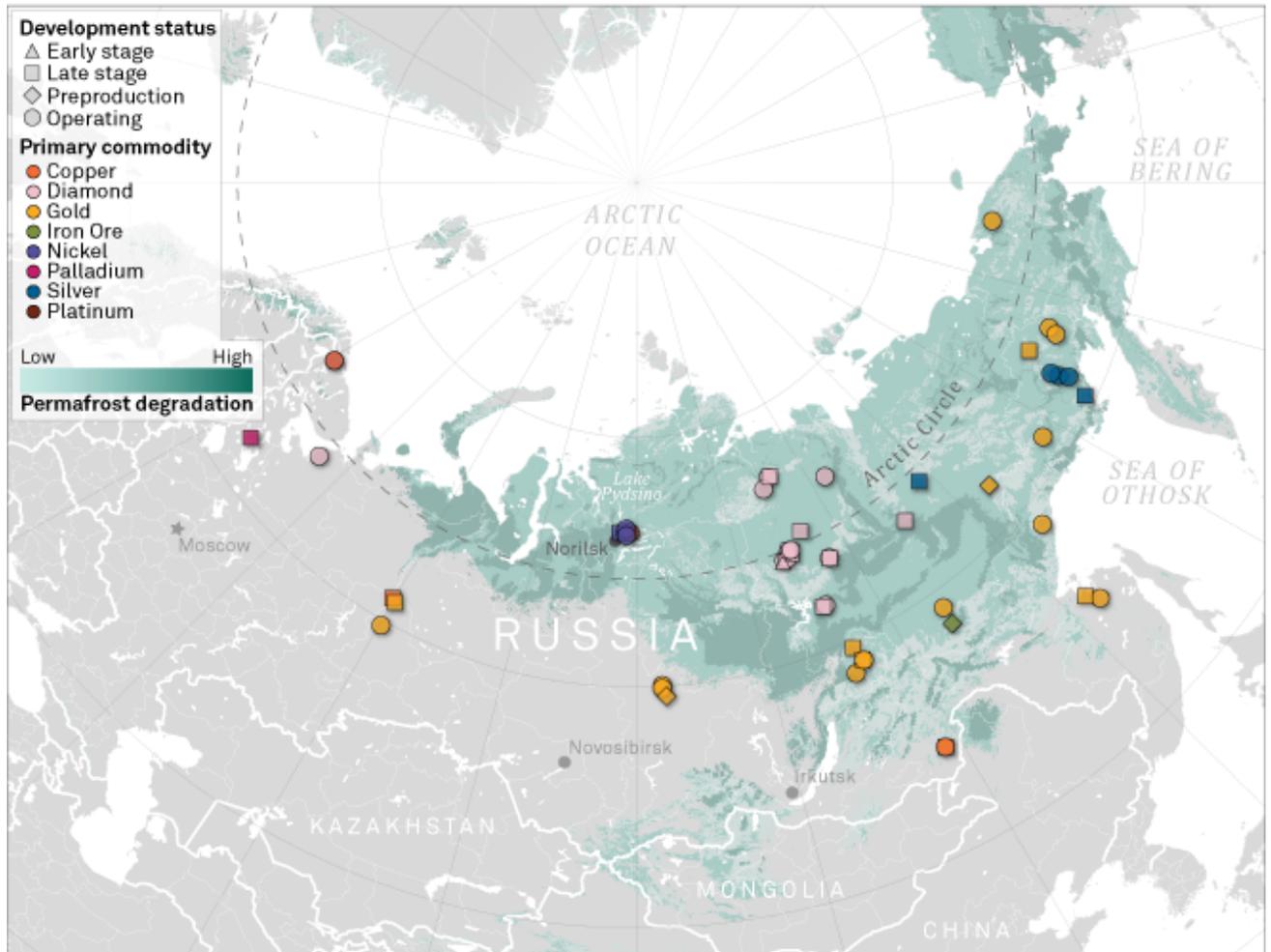


(U.S. Army Corps of Engineers Alaska District, et al., 2019)

Annexe 25 : mines en Sibérie

Carte des différentes mines en Russie. Elles sont classées selon leur état de développement ainsi que le produit de base qui est extrait

Infrastructure at risk from permafrost degradation



As of Aug. 14, 2020.

Permafrost degradation data is based on consensus of geohazard indices for different scenarios index with 2041–2060 period.

Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5.

Map credit: Ciaralou Agpalo Palicpic

Sources: PANGAEA® Data Publisher; S&P Global Market Intelligence

(Woodall, T., 2020)

S&P Global
Market Intelligence

Annexe 26 : Neige noire.

Photos de l'oblast de Kemerovo



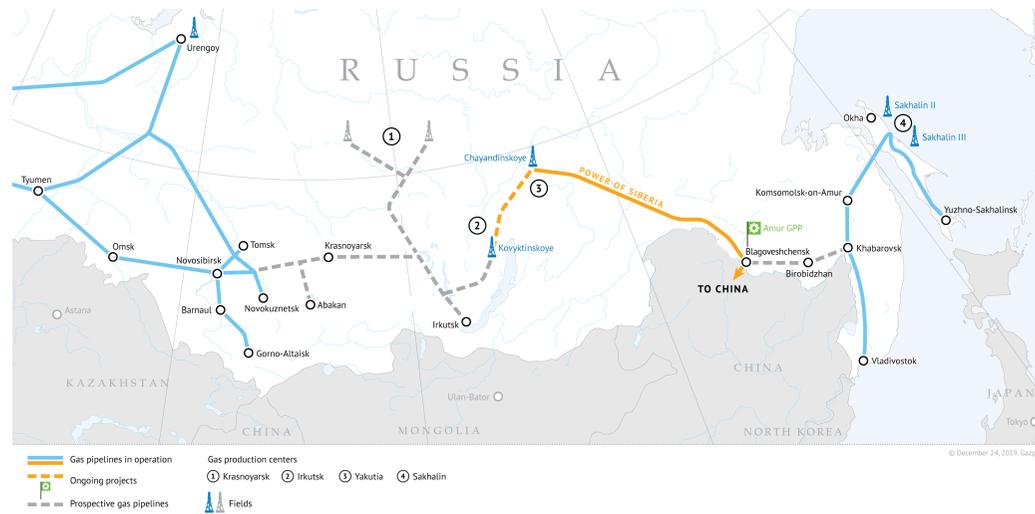
(Traduction « à l'aide/ aidez-moi »)



(The Siberian Times reporter, 2019)

Annexe 27 : Pipelines Sibérie.

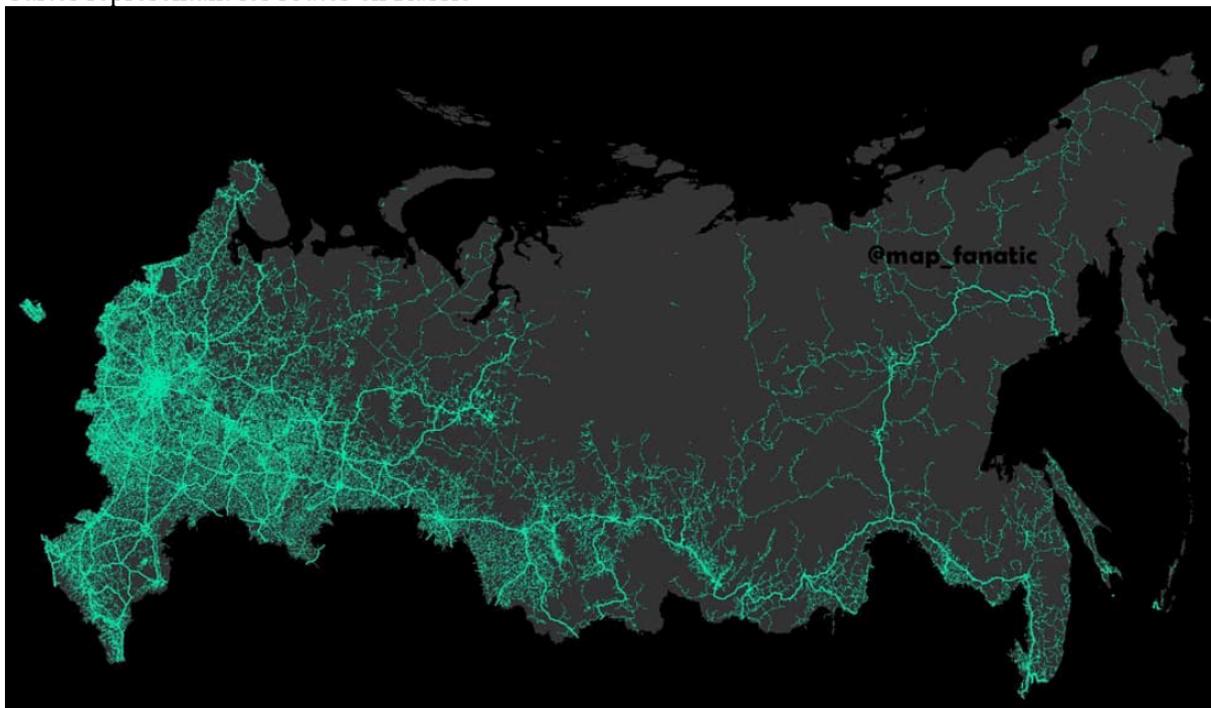
Carte représentant les différents gazoducs dans le sud de la Sibérie. Les lignes bleues représentent les gazoducs en activité, la ligne orange représente le projet « Power of Siberia », la ligne orange pointillée représente un projet en cours et les lignes grises pointillées représentent de potentiels gazoducs.



(Gazprom, 2019)

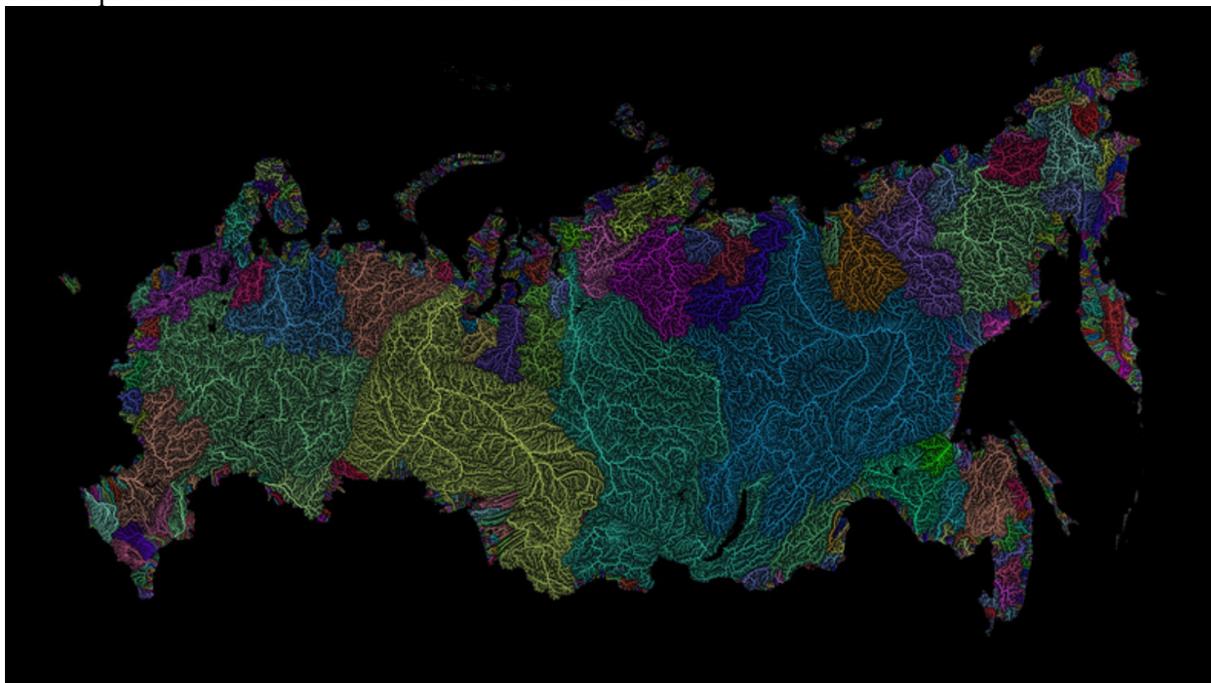
Annexe 28 : Cartographies des routes en Russie.

Cartes représentant les routes en Russie



(map_fanatic, 2019)

Carte représentant les différents cours d'eau en Russie



(Grasshopper geography, 2020)

Annexe 29 : Routes de glace dans la république de Sakha.

Photo des routes de glace



Un camion prisonnier dans la route de glace.



Photo d'un trou dans la route de glace laissé par la chute d'un camion.



(Chapple, A., Grojec, W. 2020)

Annexe 30 : La fuite de pétrole de Nornickel

Photo de travailleurs posant des bouées afin de contenir la fuite de pétrole.



(BBC, 2020)

Photo de travailleurs pompant la fuite.



(BBC, 2020)

Annexe 31 : Infrastructures humaines subissant le dégel du permafrost.

Photo d'un bâtiment qui a été refaçonné afin de recouvrir des fissures. Il a été condamné peu de temps après s'être effondré.



(Luhn, A., 2016)

Station météorologique sur l'île de Vize victime de l'érosion dû au dégel du permafrost.



(King, E., 2016)