

ANALYSE DU COUVERT FORESTIER DES DUNES DE TADOUSSAC DANS LE CADRE DE L'IMPLANTATION  
D'UN FUTUR PARC NATIONAL

par

Alice Dubois

Rapport d'expertise préparé pour Le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements  
climatiques, de la Faune et des Parcs

Dans le cadre du cours GSM 746 Pratique d'expertise sur conservation des milieux naturels III

FACULTÉ DES SCIENCES  
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, décembre 2022

## SOMMAIRE

Les terrasses marines de Tadoussac, aussi appelées aussi « dunes de Tadoussac », forment un site célèbre pour son paysage dunaire entouré de forêt et situé au confluent de l'estuaire maritime du Saint-Laurent et du fjord du Saguenay. Le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs souhaite y implanter un parc national afin de et valoriser ce site d'exception tout en y offrant un cadre propice à la recherche scientifique. Issu des activités agricoles en 1845, le paysage des dunes autrefois semi-désertiques se revégétalise progressivement et naturellement par le biais d'une succession écologique. L'aire ensablée a effectivement diminué au taux constant de 0,8 ha / an sur une période de 58 ans s'échelonnant de 1964 à 2021. À ce rythme, on s'attend à ce que les portions ensablées des dunes soient entièrement recouvertes d'une végétation herbacée et arbustive d'ici 2077. Cette étude se questionne sur la pertinence d'intervenir dans ce milieu afin de le maintenir ouvert ou de laisser la dynamique de l'écosystème provoquer la fermeture du couvert forestier. Un portrait écologique actuel du site a permis d'analyser les enjeux sociaux, écologiques et scientifiques de trois scénarios possibles aux dunes de Tadoussac. Le premier scénario propose de laisser la succession naturelle suivre son cours tandis que le deuxième scénario propose d'intervenir et de contrôler la végétation pour garder le milieu dunaire. Le troisième est un compromis entre les deux précédents a été proposé afin de garder le plus d'avantages possibles et limiter les inconvénients. Ce dernier est recommandé par cette étude et des actions à poser à courts et moyens termes en découlant sont proposés.

## TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION .....	1
2. MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1 Aire d'étude.....	3
2.2 Documentation « historique » .....	5
2.3 Analyse spatiale.....	5
2.4 Analyse temporelle.....	7
3. ÉVOLUTION HISTORIQUE DU COUVERT FORESTIER.....	8
3.1 Origine des dunes de Tadoussac .....	8
3.2 Concept de la succession écologique.....	10
3.3 Analyse de l'évolution historique du couvert forestier des dunes de Tadoussac.....	11
4. PORTRAIT ÉCOLOGIQUE ACTUEL.....	16
4.1 Flore.....	16
4.1.1. Peuplements forestiers .....	16
4.1.2. Arbustes, arbrisseaux et herbacées .....	17
4.2 Faune.....	19
4.3 Sols .....	20
5. ANALYSE DES ENJEUX SOCIAUX, SCIENTIFIQUES ET ÉCOLOGIQUES DE L'ÉVOLUTION DU COUVERT FORESTIER .....	21
5.1 Premier scénario : fermeture du couvert forestier.....	21
5.1.1. Paysage.....	21
5.1.2. Flore.....	22
5.1.3. Faune .....	23
5.1.4. Stabilisation des sols .....	24
5.1.5. Enjeux sociaux et scientifiques.....	25
5.2 Deuxième scénario : maintien du paysage actuel.....	26
5.2.1. Écosystème en milieu ouvert .....	26
5.2.2. Vulnérabilité face au changement climatique .....	28
5.2.3. Importance sociale et scientifique du maintien des dunes.....	29

5.3 Outil d'aide à la décision .....	30
5.4 Troisième scénario : le compromis .....	33
5.5 Scénario recommandé .....	33
6. RECOMMANDATION .....	35
7. CONCLUSION .....	37
8. LISTE DES RÉFÉRENCES .....	38
ANNEXE 1 RÉSULTAT DU CALCUL DE L'AIRE OUVERTE ENSABLÉE DES TERRASSES MARINES DE TADOUSSAC DEPUIS 1964 À 2021 .....	46
ANNEXE 2 TRACES DE CIRCULATION DES VTT AUX DUNE DE TADOUSSAC EN 2007,2015 ET 2021 .....	48

## **LISTE DES SIGLES, SYMBOLES ET ACRONYMES**

OOT	Observatoire des oiseaux de Tadoussac
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
Sépaq	Société des établissements de plein air du Québec
VTT	Véhicule tout terrain
LOIEMV	Loi sur les espèces menacées et vulnérables

## 1. INTRODUCTION

Les terrasses marines de Tadoussac, aussi appelées « dunes de Tadoussac », forment un site célèbre pour son paysage dunaire entouré de forêt et situé au confluent de l'estuaire maritime du Saint-Laurent et du fjord du Saguenay (Figure 1). Le site est situé en bordure du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent et la zone intertidale de la baie du moulin à Baude, en contrebas des dunes, et fait partie de la zone de protection générale du parc marin, lequel a pour but de conserver et protéger les écosystèmes marins et côtiers (Figure 1) (Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, 2011, 2022). Le parc marin attire en moyenne 275 000 visiteurs chaque année et la ville de Tadoussac, un demi-million (Limoges, 2002). Le site des dunes est visité par ces vacanciers et la population locale l'utilise régulièrement pour des activités de plein air (Paradis, 2013; Villard et al., n.d.). De plus, le site est un corridor migratoire d'une grande importance pour de nombreuses espèces d'oiseaux. Implanté depuis 1996, l'Observatoire d'oiseaux de Tadoussac (OOT) y effectue des recensements ornithologiques visuels depuis le belvédère Yvan-Duchesne situé sur les dunes. Il y pratique aussi la capture et le bagage d'oiseaux. Ces activités s'inscrivent dans le cadre d'un suivi à long terme des rapaces diurnes, des nyctales et des passereaux (Côté, 2020; Ibarzabal et al., 2009). Étant donné l'intérêt social et écologique pour ce milieu, le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) vise la création d'un nouveau parc national dans le secteur des dunes, et ce, sur un territoire de 6,5 km<sup>2</sup>.

De 1840 à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, le territoire est exploité par l'agriculture et la foresterie. Ces pratiques ont pour conséquences la désertification des terrasses, soit la création d'un paysage ensablé qui demeurera ouvert (Limoges, 2002 ; Picard, 1983). Depuis l'arrêt de ces activités, c'est le ski sur sable et le loisir de véhicule tout terrain (VTT) qui ont contribué à maintenir le couvert forestier ouvert dans un stade initial de succession écologique (Limoges, 2002). Aujourd'hui, avec l'arrêt de la pratique du ski sur sable et la diminution des VTT, le couvert forestier se referme progressivement (Lavoie & Gilbert, 2015; Villard et al., n.d.). De plus, le parc national interdira le VTT sur le territoire, ce qui contribuera à sa revégétalisation. Cette fermeture du couvert a toutefois le potentiel d'entraîner des enjeux sociaux, scientifiques et écologiques. En effet, le paysage ouvert des dunes est l'attraction principale des visiteurs et la Sépaq souhaite y implanter des infrastructures et des activités liées au paysage (Limoges, 2002 ; S-A. Marchand, communication personnelle, 31 octobre 2022). De plus, les suivis scientifiques à long terme de l'OOT bénéficient de l'aspect ouvert du paysage pour ses suivis annuels de la faune aviaire. D'un point de vue écologique, la fermeture du couvert forestier transformera l'écosystème à travers la succession des communautés floristiques et fauniques (Clements, 1916; Connell & Slatyer, 1977).

L'objectif de cette étude est d'analyser les implications et enjeux liés à la fermeture du couvert forestier ou au maintien du paysage dunaire pour conseiller le MELCCFP sur la pertinence d'intervenir, ou non, sur le territoire. Le MELCCFP pourrait alors empêcher la fermeture du couvert ou laisser la succession écologique évoluer naturellement. En documentant l'évolution historique du couvert forestier de Tadoussac et en abordant les changements écologiques et scientifiques qu'entraîneraient la revégétalisation, cette étude soutient le MELCCFP dans la prise de décision quant à la gestion de la végétation dans le futur parc national des Dunes-de-Tadoussac. Elle s'inscrit dans une vision à long terme prenant en compte le statut visé de parc national.

Ce rapport comprend d'abord un état des connaissances sur l'origine des dunes, une définition des concepts clés de la succession écologique et une analyse spatiale de l'évolution historique du couvert forestier des terrasses marines de Tadoussac. De plus, il fait état du portait écologique actuel des dunes et décrit deux scénarios possibles quant à l'évolution du couvert forestier. Il conclut sur des recommandations d'action à poser selon la pertinence ou non de laisser la forêt se refermer.

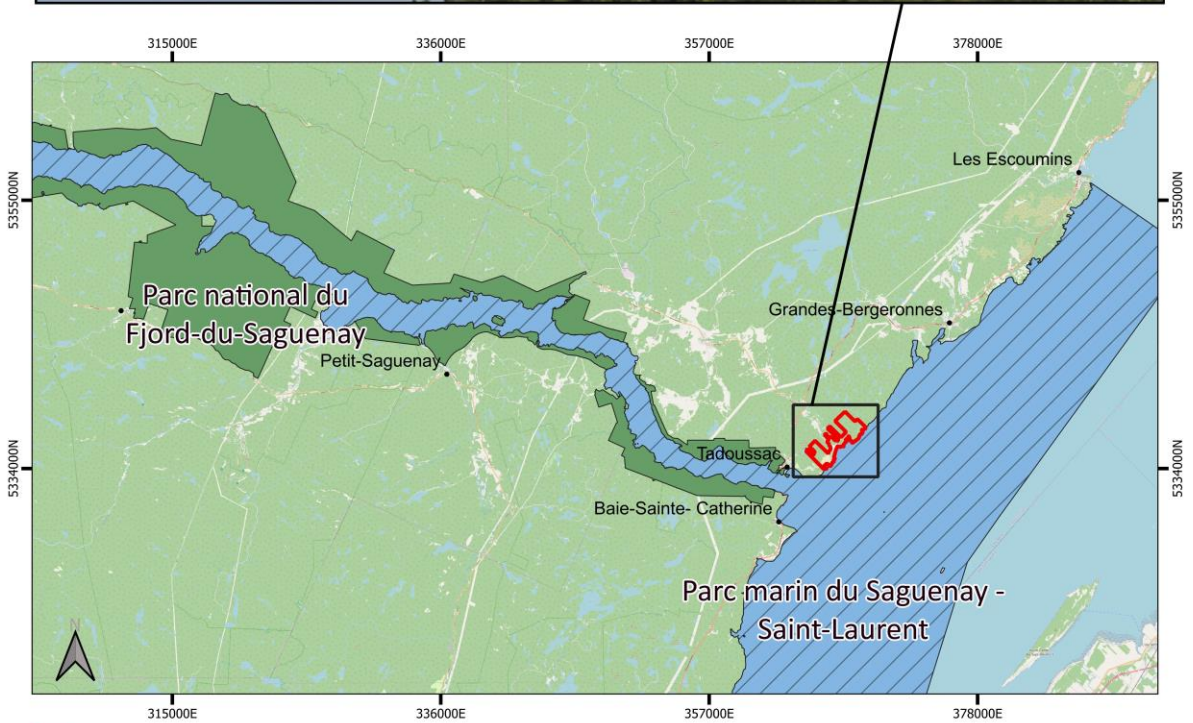
## 2. MÉTHODOLOGIE


Cette section a pour but d'expliquer la méthode employée pour réaliser les analyses liées à l'évolution du couvert forestier. La section est divisée en quatre parties afin de 1) définir l'aire d'étude, 2) présenter les sources ayant été utilisées pour la documentation d'archive historique, 3) expliquer l'analyse spatiale du couvert forestier, 4) expliquer les analyses statistiques qui permettent d'abord d'observer la vitesse à laquelle le couvert végétal s'est refermé jusqu'à présent puis d'extrapoler sur la vitesse de recouvrement future.

### 2.1 Aire d'étude



Les terrasses marines de Tadoussac sont situées au confluent de l'estuaire maritime du Saint-Laurent et du fjord du Saguenay (48°09'-48°08' N, 69°40'-69°39' O), au nord-est de la municipalité de Tadoussac, dans la municipalité régionale de comté (MRC) de la Haute-Côte-Nord (Figure 1). D'une largeur variant de 500 à 700 mètres, on distingue la terrasse inférieure comme le premier plateau s'élevant à 63 mètres au-dessus du niveau du Saint-Laurent et la terrasse supérieure, le deuxième plateau à 130 mètres de hauteur (Figure 2) (Dignard, 1992). Celles-ci se délimitent à la base des pentes raides, aussi appelée talus. On identifie le talus de la terrasse supérieure pour décrire la pente entre la terrasse supérieure et inférieure. Le talus de la terrasse inférieure fait référence à la pente entre la rive du Saint-Laurent et la terrasse inférieure (Figure 2). La délimitation des terrasses est basée sur ces caractéristiques géomorphologiques par rapport à la hauteur de chaque terrasse. Les conditions environnementales peuvent y être légèrement différentes du fait de la différence de hauteur et donc de l'exposition au vent. De plus, Dignard, Villard et leurs collègues ont également choisi cette délimitation. Cette description est donc cohérente avec les précédentes études.

L'aire d'étude est représentée par le polygone rouge figurant sur la Figure 1. Ce territoire d'environ 6,5 km<sup>2</sup> est celui visé par la création du parc national des Dunes-de-Tadoussac et appartient au gouvernement du Québec. Il s'étend de l'Anse Elisabeth à l'Anse puante. En bordure du territoire se trouve également le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, une aire marine protégée. La zone intertidale en contrebas des dunes fait partie de la zone de protection générale du parc marin (Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, 2011).



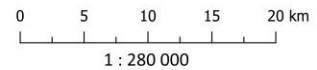
 Territoire visé par le projet de parc national des Dunes-de-Tadoussac

**Aires protégées**

-  Parc national du Fjord-du-Saguenay
-  Parc marin Saguenay - Saint-Laurent

Réalisation :  
Alice Dubois, novembre 2022

Projection :  
NAD83 / MTN zone 7  
EPSG : 32187



Source :  
Ministère des forêts, de la faune et des parcs 2022  
Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles  
Open street map  
Villard et al., n.d.

**Figure 1 Localisation des terrasses marines de Tadoussac (48°09'-48°08' N, 69°40'-69°39' O).**

## **2.2 Documentation « historique »**

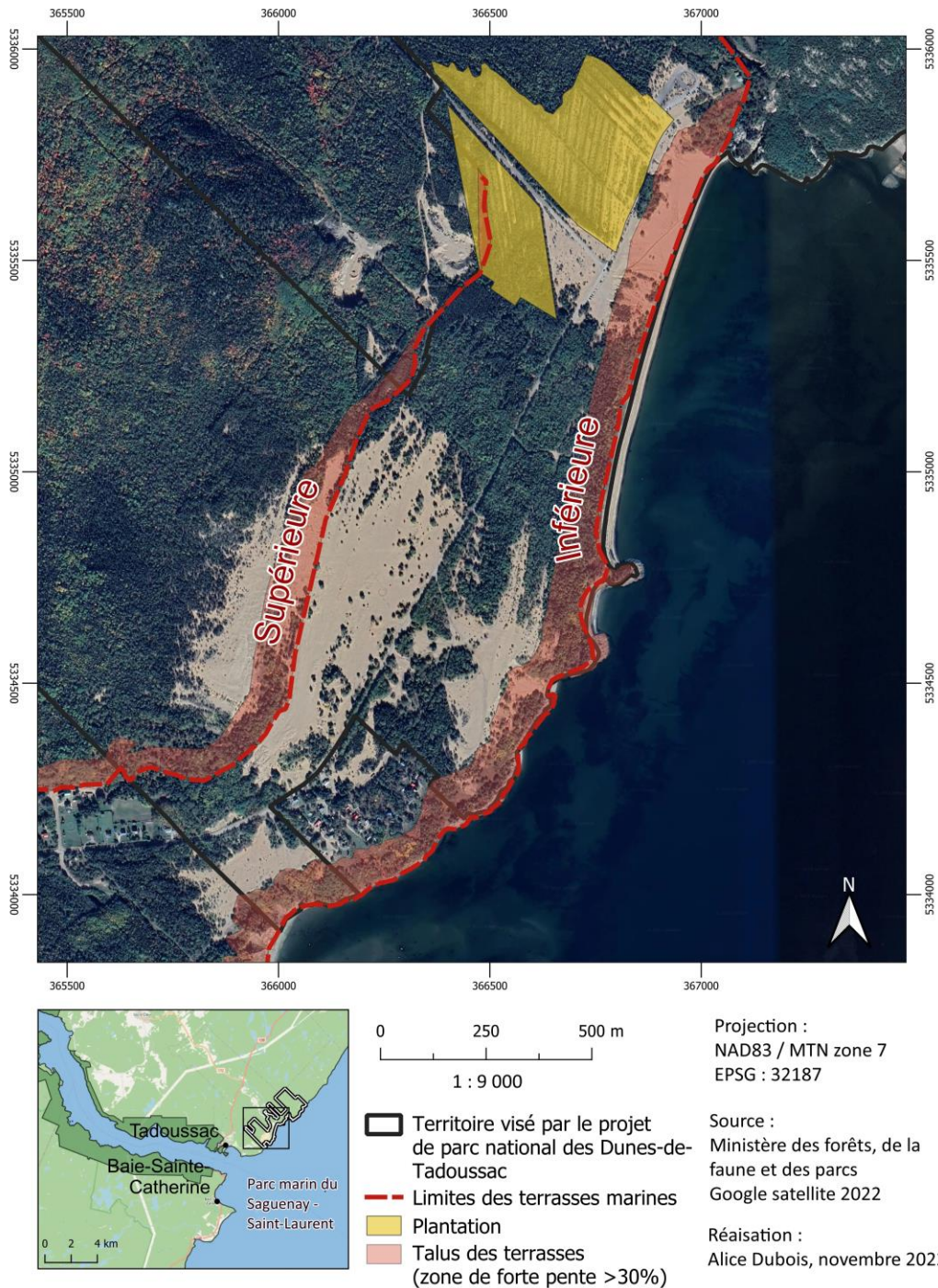
Cette étude remonte jusqu'en 1839 pour documenter l'origine des dunes de Tadoussac et trouver des informations liées aux activités humaines sur le site. Des photos de 1891 ont été trouvées sur un site internet destiné à recueillir des photos historiques de famille du 19<sup>e</sup> et 20<sup>e</sup> siècle et se voulant comme une « vitrine historique » de Tadoussac (Evans, n.d.). Afin de documenter la fermeture du couvert forestier, des images aériennes analogiques d'archive remontant jusqu'en 1950 et d'une résolution de 1:15 000 ou 1:40 000 ont été obtenues auprès du *ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles et des Forêts* du Québec et du *ministère des Ressources Naturelles du Canada*. Sur le lot, les années 1964, 1972, 1981, 1994, 2002 et 2021 ont été utilisées. Pour l'année 2012 et 2021, des images satellites Landsat (*google satellite*) ont été utilisées.

## **2.3 Analyse spatiale**

Les analyses spatiales des aires ouvertes ensablées ont été faites exclusivement sur le terrain du gouvernement québécois, soit l'aire d'étude présentée à la section 2.1. (Figure 1). Cela a pour but d'éviter les biais liés aux activités ayant (eu) cours sur des propriétés privées dont le gouvernement n'a pas le contrôle.

Les aires ouvertes ensablées ont été identifiées pour les années 1964, 1972, 1981, 1994, 2002, 2012 et 2021. Les images aériennes couvrant cette période de 58 ans (section 2.2) ont été géoréférencées à l'aide du logiciel QGIS 3.22.6 (QGIS Development Team, 2022). Le calcul de la superficie des aires ouvertes ensablées a été réalisé à l'aide de QGIS en créant des polygones délimitant ces dernières sur les images aériennes. Une aire ouverte ensablée a été définie comme une zone dont le sol est visible sur les images aériennes et composé de sable et/ou recouvert par de la végétation basse. Cette dernière inclue la présence d'herbacées, d'arbustes ou de petits semis d'arbres. Les peuplements d'arbres clairsemés suffisamment distancés pour voir apparaître le sable ont également été prises en compte dans l'aire ouverte ensablée. Les plantations couvrant 17,5 ha et identifiées à la Figure 2 ont été volontairement enlevées du calcul de la superficie de l'aire ouverte ensablée, et ce, pour toutes les années analysées. On peut ainsi distinguer l'aire ouverte à son origine, l'impact de la plantation ainsi que celui de la revégétalisation naturelle. Les plantations sont ici considérées comme de la revégétalisation anthropique, laquelle diffère du processus de succession écologique naturel observé sur les terrasses. Cette distinction permet effectivement de limiter les biais qui pourraient découler de l'apport possible d'engrais ou autres fertilisants et pesticides chimiques qui auraient été répandus sur les plantations pour favoriser la pousse

des arbres. Finalement, cette zone a aussi été exclue, car difficile à définir comme ouverte ou fermée. La zone entre les rangées parallèles est particulièrement difficile à analyser sur les images.



**Figure 2** Plantation de pins et d'épinette exclus du calcul de la superficie des aires ouvertes ensablées. La partie inférieure des terrasses correspond à la zone située entre les deux lignes pointillées rouges et la partie supérieure à la zone à gauche de la ligne pointillée rouge de gauche. Les zones en rouge correspondent aux pentes raides (talus) et les zones jaunes, aux plantations de pins.

## 2.4 Analyse temporelle

La vitesse de fermeture du couvert forestier sur les dunes entre 1964 et 2021 (i.e., 58 ans) a été estimée par le biais d'une régression linéaire simple de la superficie totale des aires ouvertes ensablées (voir section 2.3) en fonction de l'année. La régression a été ajustée avec la fonction *lm* du logiciel R v.4.2.1 (R Core Team, 2022) et la fonction *ggplot* de la librairie *tidyverse* (Wickham et al., 2019) a été utilisée pour visualiser l'évolution de l'aire ouverte ensablée dans le temps. L'équation issue de cette régression a été utilisée pour extrapoler la superficie attendue de l'aire ouverte en 2045 dans l'éventualité que la revégétalisation des dunes se poursuive au même taux. Cette prédiction couvre une période de 24 ans et se veut parcimonieuse compte tenu de l'accroissement de l'incertitude dans le temps pour une projection à long terme. Elle représente sensiblement, en années, la moitié de la période utilisée pour observer la tendance de revégétalisation actuelle.

### 3. ÉVOLUTION HISTORIQUE DU COUVERT FORESTIER

Les dunes de Tadoussac sont un milieu ouvert exceptionnel et unique dans la région. Le paysage est composé de dunes de sable entourées de forêt et d'une vue panoramique sur le fleuve Saint-Laurent (Figure 1), ce qui attire un grand nombre de visiteurs chaque année (Paradis, 2013; Villard et al., n.d.). Les habitants des municipalités du secteur ont également l'habitude de profiter de ce lieu si particulier (Paradis, 2013). Ce dernier est actuellement dans un processus de succession écologique qui entraîne la revégétalisation des dunes, ce qui se traduit par l'avancée du couvert forestier sur le milieu dunaire (Dignard, 1992; Lavoie & Gilbert, 2015; Villard et al., n.d.). La succession écologique est un phénomène naturel faisant référence aux processus de changement des communautés écologiques durant le développement et l'évolution d'un écosystème. Elle se produit suite à une perturbation naturelle ou anthropique ayant éliminé le couvert forestier (Clements, 1916), ce qui est le cas aux dunes de Tadoussac.

Cette section documente l'origine des dunes de Tadoussac pour mettre en contexte la présente étude. Une synthèse sur le concept de succession écologique est présentée afin de comprendre l'évolution historique du couvert forestier des dunes depuis ses origines à aujourd'hui. Une analyse historique détaillée sur l'évolution du couvert de 1964 à nos jours conclut cette section.

#### 3.1 Origine des dunes de Tadoussac

Le paysage dunaire des terrasses marines de Tadoussac n'a pas toujours été un espace ouvert et sablonneux. Les activités humaines ont modifié ce milieu qui autrefois était une forêt fermée (Picard, 1983; Villard et al., n.d.). Dès 1839, les forêts de pin blanc (*pinus strobus*) présentes sur les terrasses sont exploitées. En 1845, tous les pins sont coupés pour la production de bois et c'est l'agriculture qui s'installe (Picard, 1983). Les pratiques agricoles et la déforestation de la zone mènent au fil des ans à la dégradation de la mince couche de sol organique (Limoges, 2002; Parcs Québec & Sépaq, 2016). Le sol constitué de dépôts marins sablonneux formés lors de la dernière glaciation est alors exposé au vent (ZIP Nord, 2006). L'érosion éolienne provoquant un effet de déflation entraîne la désertification visible sur la Figure 3 et façonne le paysage dunaire (Dignard, 1992; Parcs Québec & Sépaq, 2016). En 1891, les terrasses avaient des airs de désert et quasiment plus aucune végétation n'y était observable (Figure 3). Depuis ce temps, le couvert forestier a regagné du terrain, mais des zones sont restées ouvertes et désertiques (Figure 3). L'aspect géomorphologique exceptionnel du site (Bellavance, 2021), son environnement sablonneux et la beauté de la vue sur le fleuve Saint-Laurent ont y engendré le développement d'activités récréotouristiques (ski sur sable, VTT, randonnée) (Lavoie & Gilbert, 2015; Limoges, 2002; Villard et al.,

n.d.). Ces activités, ainsi que l'érosion éolienne, ont contribué au maintien de zones ouvertes en exerçant une pression sur la végétation (Dignard, 1992; Limoges, 2002; Lavoie & Gilbert, 2015). C'est dans la pente de la terrasse inférieure que le ski sur sable amateur et de compétition fut pratiqué jusqu'en 1983, favorisant l'érosion et empêchant la revégétalisation sur cette pente de 45° (Villard et al., n.d.). La circulation de VTT y est encore pratiqué d'avril à novembre dans les talus des terrasses, sur les zones de replats, sur la plage et également en milieux boisés (Limoges, 2002). Le paysage des terrasses d'origine anthropique ressemblant à des dunes de sable est aujourd'hui communément appelé « dunes de Tadoussac ».



**Figure 3 Désertifications des terrasses marines de Tadoussac en 1891 suite à l'exploitation forestière et agricole.**

### **3.2 Concept de la succession écologique**

La succession écologique se divise en plusieurs étapes. Elle débute par une phase initiale de colonisation des espaces dénudés jusqu'à atteindre un stade tardif, stade auquel les communautés végétales se stabilisent (Clements, 1916). Durant ces différentes phases, les espèces végétales dominantes sont remplacées successivement par de nouvelles espèces (Clements, 1916; Connell & Slatyer, 1977). La disponibilité des nutriments du sol, la productivité des écosystèmes, la biomasse totale, la diversité des espèces et de la structure de la végétation sont donc autant de caractéristiques en constante évolution (Walker & del Moral, 2003).

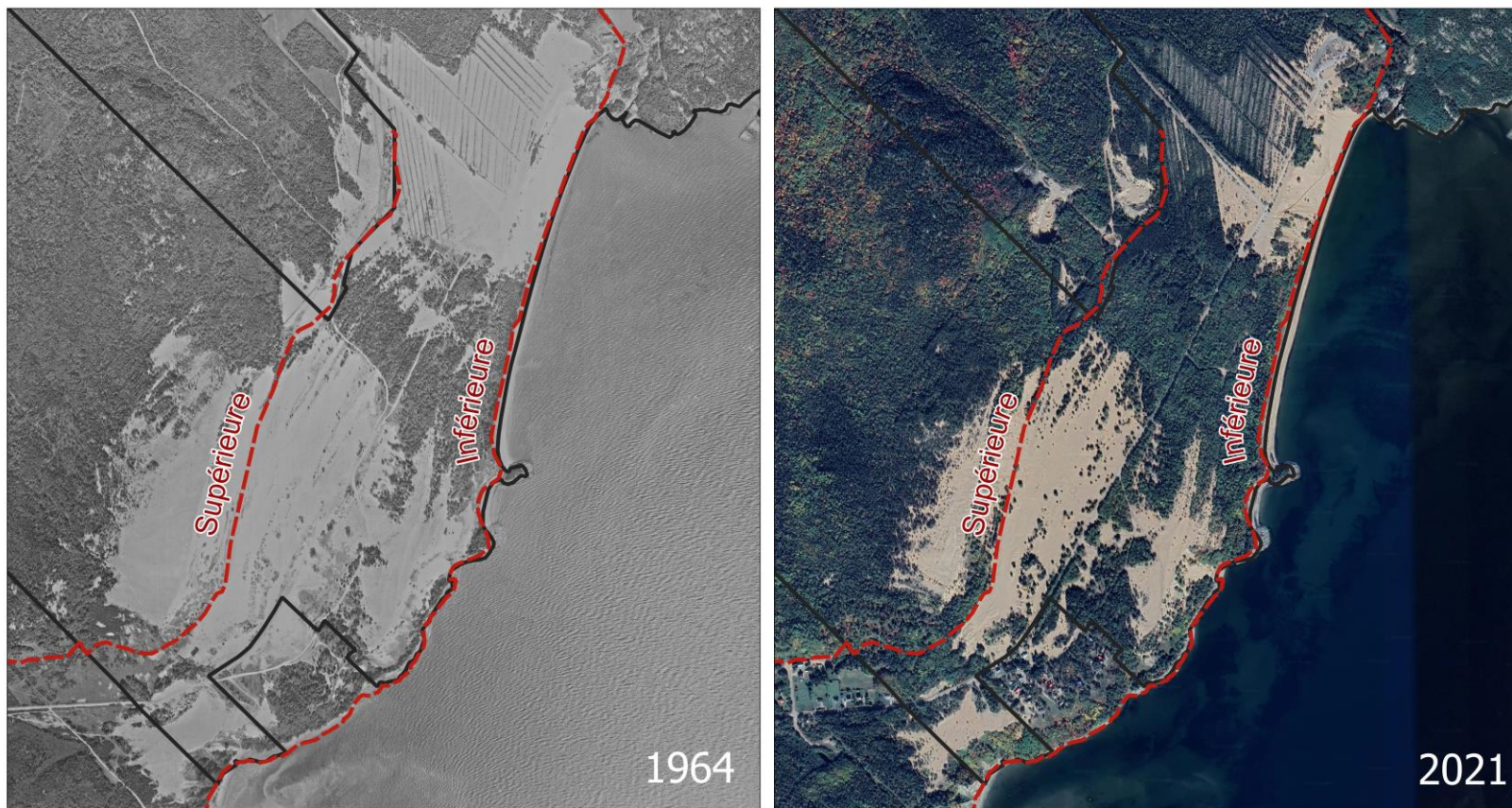
La phase initiale est caractérisée par la colonisation des espèces opportunistes aussi appelée espèces pionnières (Connell & Slatyer, 1977). Pendant cette phase, ce sont des lichens, des mousses ou des herbacées qui s'établissent selon les conditions environnementales et les perturbations (Swanson et al., 2011). Ce type de couvert à croissance rapide dispose d'une large capacité de dispersion et est capable de s'établir dans des milieux pauvres en ressources, exposés au vent, à la lumière, à des températures plus élevées et de faible taux d'humidité (Connell & Slatyer, 1977; Swanson et al., 2011). Ces types de végétaux modifient l'environnement biotique et abiotique, ce qui favorise le recrutement de nouvelles espèces ayant des besoins différents pour croître (humidité relative, nutriments) (Connell & Slatyer, 1977; Walker & del Moral, 2003). Cette nouvelle phase se caractérise par l'apparition de nouvelles espèces d'herbacées vivaces et d'arbustes (Walker & del Moral, 2003). Suivant cette étape, les espèces d'arbres pionniers intolérants à l'ombre et ayant une croissance rapide font aussi leurs apparitions pour former une strate arborée. Ensuite, d'autres espèces d'arbres tolérants à l'ombre et ayant une croissance plus lente s'établissent sous la canopée des arbres pionniers (Chen & Popadiouk, 2002). Alors que les arbres pionniers commencent à mourir et décliner de par leur faible longévité ou suite à de faibles perturbations, les espèces du sous-étage prennent leur place peu à peu dans la canopée pour finalement devenir dominantes (Chen & Popadiouk, 2002). Intolérants à l'ombre, les pionniers ne peuvent plus croître et sont éliminés progressivement des peuplements (Chen & Popadiouk, 2002; Connell & Slatyer, 1977). Ceci mène au stade final de succession, le stade climax (Chen & Popadiouk, 2002). Une fois le couvert forestier refermé, la structure verticale et horizontale (le diamètre, la hauteur et la densité des arbres) se diversifie et se complexifie avec la présence de plusieurs étages de végétation (herbacée, arbustive et arborescent) (Glenn-Lewin et al., 1992). La biomasse et la densité des arbres augmentent (Lichter, 1998) tandis que le périssement de la cohorte d'arbres initiale augmente la quantité de bois mort (chicots, chablis, débris ligneux) (Chen & Popadiouk, 2002; Hilmers et al., 2018).



Les communautés fauniques changent également durant ce processus. Dans les débuts de stade de succession, des espèces de milieux ouverts sont présentes puis laissent place à des espèces forestières dans les stades plus avancés, quand le couvert forestier se referme (Swanson et al., 2011). En effet, la diversité des espèces végétales produit de nombreuses sources de nourriture et différents abris pour la faune. Par exemple, les herbivores bénéficient de nombreuses ressources lorsque les herbacées et arbustes sont dominants dans les premiers stades de la succession. Les baies, les graines et le nectar des arbustes sont également plus abondants en absence de strate arborée (Swanson et al., 2011). En fin de succession, le bois mort des débris ligneux, chicots et chablis prodigue des ressources à une faune spécialisée qui l'utilise pour se nourrir, se reproduire et se reposer (Seibold et al., 2015; Smith, 2007).

Plusieurs études observent que la diversité spécifique atteint son maximum lors des stades de succession relativement précoces quand les milieux présentent à la fois les espèces plus tardives de la succession et les espèces pionnières intolérantes à l'ombre (Hilmers et al., 2018; Lichter, 1998; Walker & del Moral, 2003). La disparition des espèces de début de succession marque le début des stades intermédiaires et une diminution de la biodiversité. Cette dernière réaugmente lorsque les espèces en fin de succession commencent à dépérir à leur tour (Hilmers et al., 2018; Lichter, 1998).

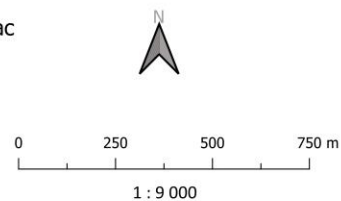
### **3.3 Analyse de l'évolution historique du couvert forestier des dunes de Tadoussac**

Les terrasses sont toujours dans une phase initiale de succession écologique pour ce qui est des zones ouvertes et ensablées. Les boisés entourant les aires ouvertes sont quant à eux d'avantage en phases intermédiaires. On constate sur la Figure 2 que la majorité du paysage ouvert ensablé occupe la partie inférieure des terrasses, celle-ci étant plus dénudée que la partie supérieure. On remarque que la revégétalisation des terrasses sur les 58 dernières années se caractérise par une avancée du couvert forestier bien visible sur les images aériennes entre 1964 et 2021 (Figure 4). Une plantation de pins et d'épinettes a également participé à cette avancée du couvert à l'est de la terrasse inférieure (Dignard, 1992). La revégétalisation a séparé les aires ouvertes en deux zones. Une au nord-est et une autre au sud-ouest.



-  Territoire à étude pour le rojet de parc national des Dunes-de-Tadoussac
-  Limites des terrasses marines

Réalisation :  
Alice Dubois, novembre 2022

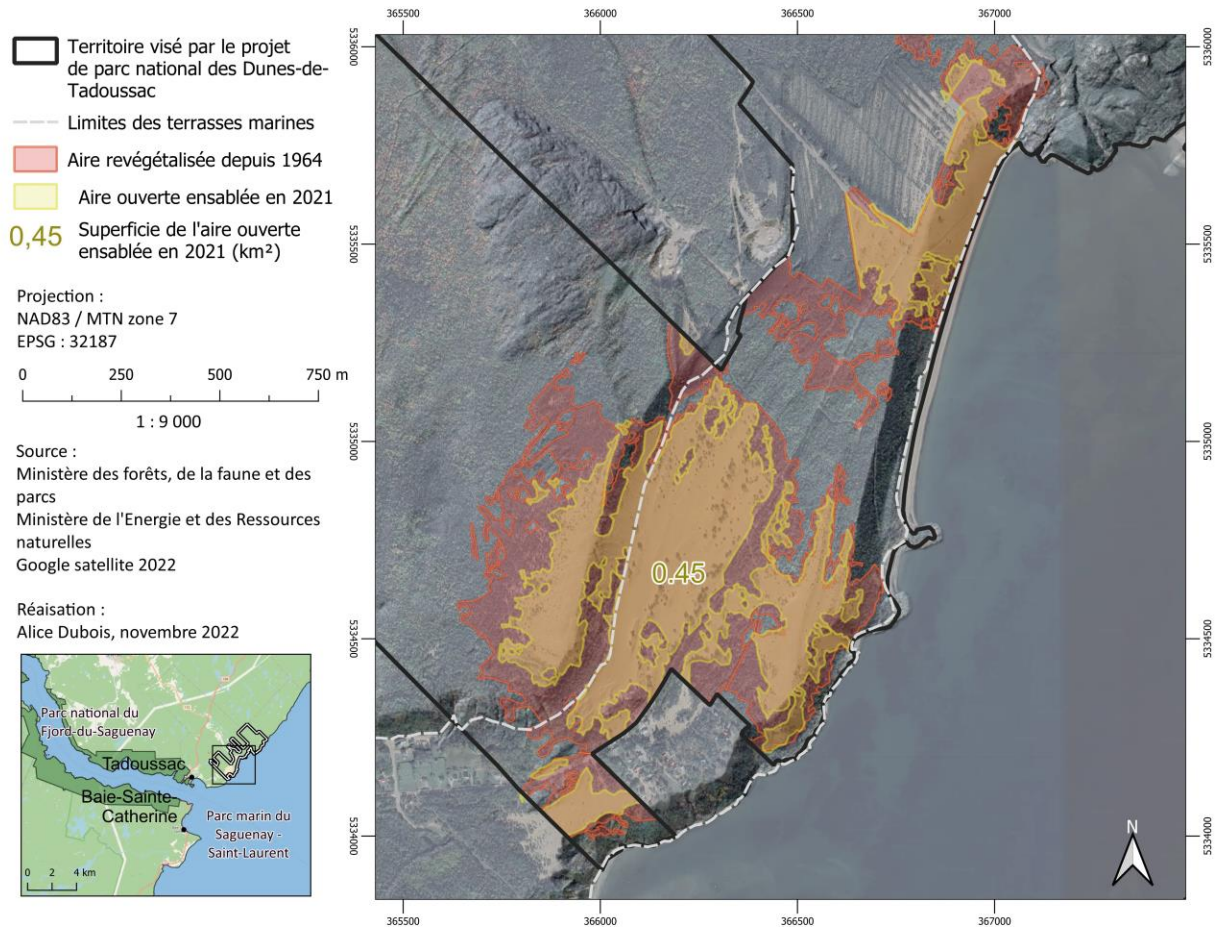


Source :  
Ministère des forêts, de la faune et des parcs 2022  
Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles  
Google satellite 2022

Projection :  
NAD83 / MTN zone 7  
EPSG : 32187

**Figure 4 Évolution du couvert végétal sur les terrasses marines de Tadoussac entre 1964 (à gauche) et 2021 (à droite).** La partie inférieure des terrasses correspond à la zone située entre les deux lignes pointillées rouges et la partie supérieure à la zone à gauche de la ligne pointillée rouge de gauche.

En 1964, l'aire ouverte ensablée couvrait une superficie de 0,87 km<sup>2</sup> (87 ha) sur le territoire à l'étude, mais la majorité de celle-ci se situait sur la partie inférieure (Figure 5 et 6). En 2021, la superficie de l'aire ouverte avait diminué à 0,45 km<sup>2</sup> (45 ha) (Figure 5). En 58 ans, on observe donc une diminution d'environ la moitié de la surface de l'aire ouverte d'origine, soit une revégétalisation de 0,42 km<sup>2</sup> (42 ha) (zone rouge, Figure 5).



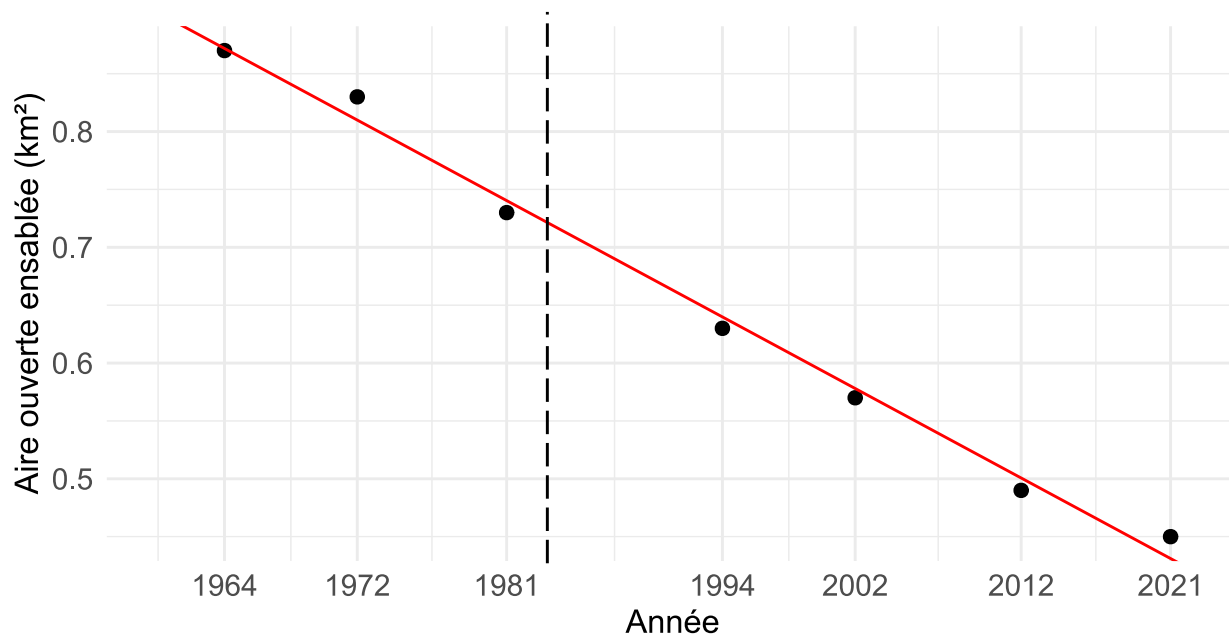
**Figure 5 Superficie (km<sup>2</sup>) de la revégétalisation de l'aire ouverte ensablée des terrasses marines de Tadoussac depuis 1964 à 2021.** La zone rouge représente la revégétalisation depuis 1964 et la zone jaune représente l'aire ouverte ensablée en 2021.

À l'échelle du territoire visé par le projet de parc national des Dunes-de-Tadoussac, cette diminution est constante entre les années (Figure 6, Annexe 1). En moyenne on observe une diminution d'un taux de 0,8 ha par année sur la période étudiée. L'acquisition des terres par le gouvernement québécois ne semble pas avoir eu d'influence sur la vitesse de la revégétalisation à cette échelle spatiale (Figure 6). À ce rythme, on s'attend à ce que les portions ensablées des dunes soient entièrement recouvertes au minimum d'une végétation herbacée et arbustive d'ici 2077. Comparativement à d'autres endroits cette revégétalisation

peut être perçue comme étant lente. En effet, des études observent des revégétalisations post exploitation forestière plus rapide que celle observé aux Dunes. Au nord de la forêt boréale du Québec, les espèces ont recolonisé des territoires brûlés au cours des 15 premières années après le feu (Morneau & Payette, 1989).

Cette vitesse est probablement due aux conditions environnementales difficiles liés aux activités agricoles et à l'érosion du sol (voir sections 4.1.2 et 4.3). Les pratiques du ski et du VTT sur les dunes ont pu également contribuer à ralentir la vitesse de revégétalisation. Le ski sur sable fut autorisé jusqu'en 1983. Depuis cette date, la vitesse de revégétalisation ne semble pas avoir changé (Figure 6). Néanmoins, le ski a été pratiqué principalement à l'est du talus de la terrasse inférieure. L'avancé du couvert ne semble pas avoir été importante dans cette zone depuis 1964 (Figure 5). Pour ce qui est des VTT, l'influence de cette activité n'est pas non plus perceptible dans la tendance de revégétalisation observée entre 1964 et 2021 (Figure 6). Malgré que cette pratique ait diminué depuis l'intervention des gardes-parc, elle est encore pratiqué sur les terrasses et visible sur les images satellites en 2021 (Annexe 2) (Lavoie, 2014; Lavoie & Gilbert, 2015; Limoges, 2002; Villard et al., n.d.). La diminution de la circulation ne semble pas avoir influencé la vitesse de revégétalisation. La vitesse actuelle ne peut donc pas être comparée avec une revégétalisation sans la pratique des VTT, puisque celle-ci n'a jamais complètement cessé. Pourtant, les impacts des VTT sur la flore sont bien étudiés (Kutiel et al., 2000; Vollmer et al., 1977; Webb & Wilshire, 2012). Ils inhibent la germination et l'émergence de semis en plus de détruire ceux déjà établi par écrasement (Limoges, 2002; Webb & Wilshire, 2012). Les VTT détruisent la flore pionnière de début de succession ainsi que les racines peu profondes des anciens plants morts qui commencent la stabilisation du sol sablonneux et permettent la colonisation des autres espèces donc la regévétalisation (Webb & Wilshire, 2012). Un seul passage peut détruire les plantes annuelles et plusieurs passages répétés peuvent détruire la flore plus grande ayant des racines plus profondes comme les sous-arbrisseaux. Ceux-ci font aussi des dommages au sol en le compactant et en perturbant sa surface (Webb & Wilshire, 2012). Cela augmente la susceptibilité à l'érosion éolienne et hydrique. Ces impacts sont d'autant plus importants dans les milieux sablonneux en régénération et ont été observé aux dunes de Tadoussac (Limoges, 2002; Villard et al., n.d.; Webb & Wilshire, 2012). Lavoie a observé en 2015 lors d'un suivi des indicateurs environnementaux (PSIE) de la sépaq que les expansions de certains îlots de végétation sont limitées par la circulation des véhicules. Certains îlots de végétation pionnières diminuent en taille entre 2005 et 2015 et des traces visibles de VTT traversent et morcellent ces îlots (Annexe 2) (Lavoie & Gilbert, 2015). On peut donc suggérer que la vitesse de fermeture du couvert forestier puisse s'accélérer avec l'interdiction de

circuler en VTT dans le futur parc national, ce qui entraînerait la suppression des impacts énumérés ci-dessus. Lavoie avait elle aussi émit cette conclusion lors de son suivi PSIE (Lavoie & Gilbert, 2015).



**Figure 6 Évolution de l'aire ouverte ensablée des terrasses marines de Tadoussac entre 1964 et 2021.** La ligne noire pointillée représente l'année d'acquisition des terrasses marines par le gouvernement québécois (1983). La ligne rouge représente les valeurs prédites par la régression linéaire (pente = -0,008).

## 4. PORTRAIT ÉCOLOGIQUE ACTUEL

Depuis l'ouverture du couvert forestier pour l'agriculture en 1845, en passant par le recouvrement progressif de la végétation, les dunes de Tadoussac ont grandement changé. En effet, leur composition floristique a évolué. Elles sont aujourd'hui composées à la fois d'un milieu forestier qui progresse au fil du temps et d'un écosystème dunaire ouvert. Selon la classification écologique du territoire, les terrasses se situent dans la zone tempérée nordique, dans la sous-zone de la forêt mixte et de la sapinière à bouleau jaune. Toutefois, la vallée du Saguenay est une zone de transition entre la forêt tempérée nordique et la forêt boréale (Morneau, 2021). La flore identifiée sur les terrasses est plus typique d'une forêt boréale de type sapinière à bouleau à papier comme les milieux côtiers de la région (Villard et al., n.d.). En effet, le fleuve Saint-Laurent en bordure des terrasses contribue à des températures estivales plus basses que dans les terres et à des vents plus élevés qui modulent le climat des milieux côtiers (Dignard, 1992).

Les connaissances écologiques disponibles pour le site à l'étude sont présentées sous forme d'un portrait écologique de l'écosystème actuel qui décrit les peuplements forestiers, la flore, la faune et les sols.

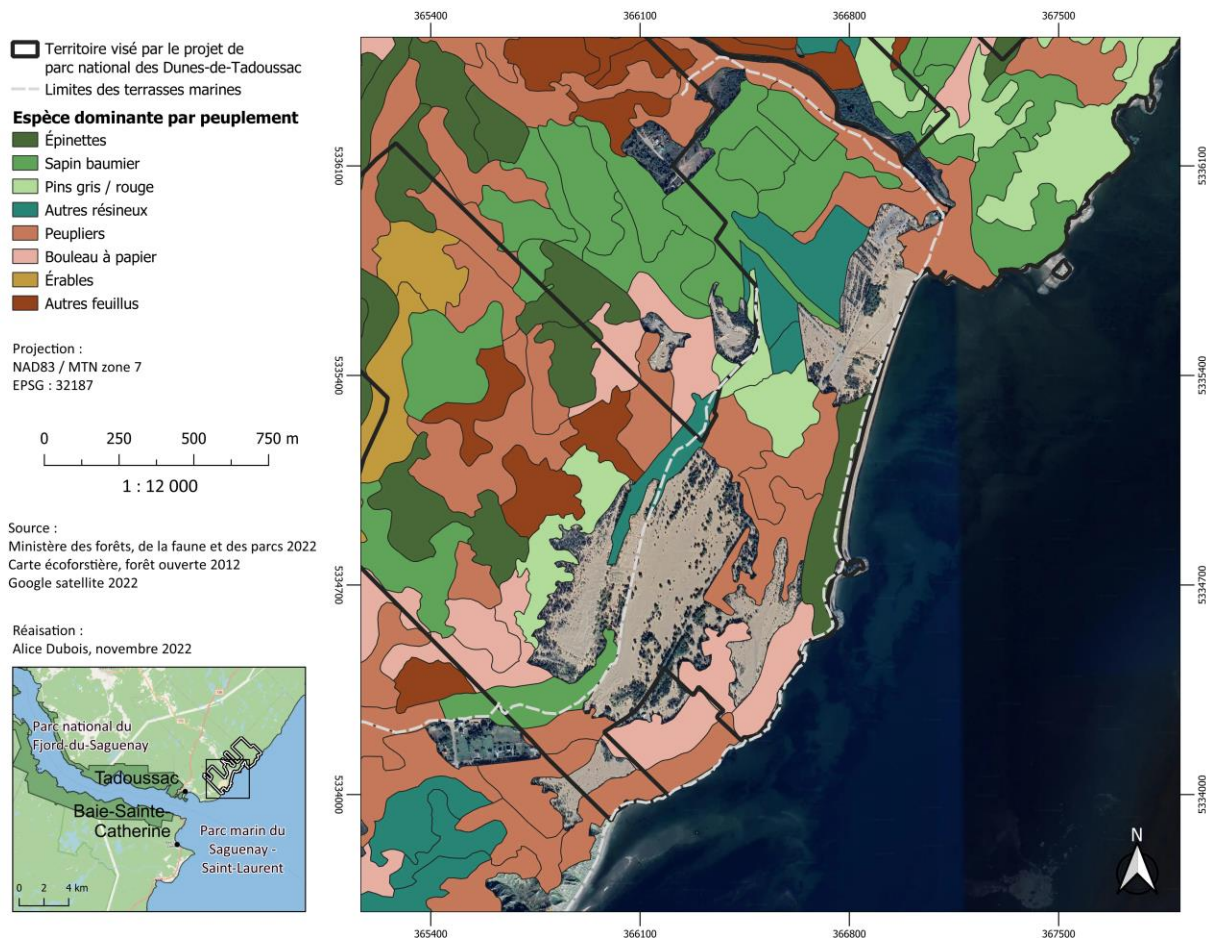
### 4.1 Flore

#### 4.1.1. Peuplements forestiers

Les espèces dominantes du couvert forestier sont le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), le pin gris (*Pinus banksiana*), le pin rouge (*Pinus resinosa*), l'épinette blanche (*Picea glauca*), le sapin baumier (*Abies balsamea*), le peuplier baumier (*Populus trichocarpa*) et le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*). Des peuplements d'érables rouges (*Acer rubrum*) et de feuillus intolérants à l'ombre se trouvent également dans la partie supérieure des terrasses plus enfoncée dans les terres (Figure 7) (MFFP, 2022). Les milieux forestiers des terrasses sont majoritairement des peuplements mixtes ou de résineux (MFFP, 2022; Villard et al., n.d.). L'âge des peuplements est très variable, pouvant aller de 10 ans pour les sites de plantations à 120 ans pour quelques peuplements. La majorité des peuplements en bordure des aires ouvertes ensablées en 2012 sont âgés de 30 ans ou 50 ans et quelques-uns de 70 ans (MFFP, 2022; Villard et al., n.d.).

Sur la terrasse supérieure, la marge nord de l'aire ouverte ensablée de 1964 a été repeuplée principalement par des pins gris. Cette jeune forêt de 30 ans n'est pas très dense et semble encore clairsemée (Figure 4 et 7). Le talus lui se fait coloniser depuis 1992 par des bosquets de bouleau à papier, de pins gris, de l'épinette blanche, de cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*) et de sorbier d'Amérique (*Sorbus americana*). Sur la terrasse inférieure, la partie est possède une plantation composée

de pins gris, pins rouges, pins blancs, d'épinette blanche et d'épinettes de Norvège (*Picea abies*) plantées en rangs parallèles (Dignard, 1992). Le talus est entièrement boisé par des peuplements de bouleaux à papier, d'épinettes blanches, de peupliers baumier et peupliers faux-tremble sur la partie ouest, tandis que la partie est, où se pratiquait le ski, est complètement dénudée (Figure 7) (MFFP, 2022). Le PSIE réalisé par la Sépaq permet d'observer la croissance annuelle des îlots de bouleaux à papier et d'épinettes blanches entre 2005 et 2015 ainsi que la revégétalisation autour de ceux-ci. Une augmentation de la circonférence a été observé passant de 16m en 2005 à 18,4m en 2015 (Lavoie & Gilbert, 2015).



**Figure 7** Carte des espèces dominantes du couvert forestier supérieur en 2012 dans la région des terrasses de Tadoussac.

#### 4.1.2. Arbustes, arbrisseaux et herbacées

La communauté floristique des dunes est adaptée aux conditions difficiles d'un environnement aride (Dignard, 1992). En 1992, la terrasse inférieure était la plus riche en espèces floristiques, principalement en espèces pionnières d'herbacées (Dignard, 1992). On y trouve principalement deux espèces pionnières typiques des sols sableux, l'Élyme des sables (*Leymus mollis*) et la Potentille à feuilles tridentées (*Potentilla*

*tridentata*) (Dignard, 1992). Elles ont la particularité de bien résister à l'érosion éolienne et à l'enfouissement par le sable (Dignard, 1992). Ces espèces ont été observées en train de s'établir en groupes monospécifiques dans les aires dénudées ensablées (Dignard, 1992; Lavoie & Gilbert, 2015), notamment sur le bas du talus de la terrasse supérieure (Dignard, 1992) qui est aujourd'hui peuplé d'arbres. Les principales herbacées colonisant les dunes sont des graminées vivaces xérophytes comme le Pâturin du Canada (*Poa compressa*), le Danthonie à épi (*Danthonia spicata*), l'Agropyre à crête (*Agropyron repens*) et des espèces typiques de milieux sableux comme les carex et la Verge d'or hispide (*Solidago hispida*). Des sous-arbrisseaux peuplent le site, notamment des éricacées telles que la Camarine noire (*Empetrum nigrum*), l'Airelle rouge (*Vaccinium vitis-idaea*), la Busserole (*Arctostaphylos uva-ursi*). Finalement des arbustes tels que le bleuet à feuilles étroites (*Vaccinium angustifolium*), le genévrier commun (*Juniperus communis*) et l'aulne crispé (*Alnus viridis*) sont présents sur le site (Dignard, 1992; Villard et al., n.d.).

La terrasse supérieure, plus hostile, est pauvre en espèces floristiques. En 1992, même les espèces pionnières telles que l'élyme des sables ne se retrouvaient pas dans cette zone. Le sol des forêts de pins gris et d'épinette est recouvert de lichens et des mousses (Dignard, 1992). Il en est de même dans les plantations de pins et d'épinettes où la richesse spécifique était également pauvre et où on y retrouvait surtout des herbacées xérophytes et des lichens (Dignard, 1992).

Deux espèces d'intérêt phytogéographique, le Carex des glaces (*Carex glacialis*) et Carex de Bigelow (*Carex bigelowii*) sont présents sur la terrasse supérieure (Dignard, 1992). Elles sont toutes deux des espèces arctiques-alpines (Dignard, 1992, 2006). Le carex des glaces de ce secteur représente la population la plus méridionale de son aire de répartition (Dignard, 2006). Cette population spécifique à la région Côte-Nord possède un statut d'espèces menacées depuis 2010 en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables (LOIEMV), mais ce statut est sur le point de lui être enlevé, l'espèce n'étant plus considéré comme isolé géographiquement (B. Tremblay, communication personnelle, 2 novembre 2022). Le carex Bigelow ne possède pas de statut, mais sa présence aux terrasses demeure inhabituelle et exceptionnelle (Lavoie, 2012). Le nombre de plants dans les colonies de carex est en forte diminution si on se fie aux observations effectuées lors du suivi de ces populations entre les années 1998 et 2020 (Dignard, 2006; Lavoie, 2012, 2014, 2020). Par le passé, ces colonies ont été menacées par la circulation de VTT. Aujourd'hui c'est la compétition interspécifique entraînée par la fermeture du couvert forestier et les sécheresses estivales qui menace les plants encore vivants (Lavoie, 2020).

## 4.2 Faune

La concentration d'oiseaux et la diversité des espèces observables aux dunes y sont exceptionnelles et en font un lieu d'un grand intérêt écologique et scientifique mondial (Ibarzabal et al., 2009). En effet, les terrasses de Tadoussac se situent dans un important couloir migratoire d'oiseaux venant des milieux boréaux et arctiques de la péninsule du Québec-Labrador (Ibarzabal, 1999). Cette migration a lieu au printemps et de façon beaucoup plus importante à l'automne. En effet, à l'automne, les oiseaux migrateurs se déplacent vers le sud pour rejoindre leur aire d'hivernage (Ibarzabal et al., 2009). Évitant de traverser de grandes étendues d'eau, leur voyage longe la côte nord du fleuve Saint-Laurent. La concentration maximale d'oiseaux migrateurs se situe dans le secteur de Tadoussac du fait que le fleuve Saint-Laurent est trop large pour que les oiseaux le traversent aisément avant ce secteur (Bélisle et al., 2001; Ibarzabal, 1999). Les terrasses sont aussi une halte migratoire et aire de repos durant la migration de ces oiseaux (J.F. Therrien, communication personnelle, 14 novembre 2022; Limoges, 2002). On compte 15 espèces de rapaces migrateurs, de nombreuses espèces côtières et des passereaux. En moyenne on y observe 7 000 rapaces et plus de 60 000 passereaux par année (Observatoire des oiseaux de Tadoussac, 2022). Ce corridor a aussi été désigné comme zone d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO) par l'organisme Études d'oiseaux Canada en 1996 (Limoges, 2002) et comme Important Bird Area par la *BirdLife International* (McClure et al., 2022). Cette désignation est fondée sur la concentration et la diversité des espèces observées lors de la migration et du fait que plusieurs espèces qui représentent au moins 1% des populations mondiales; continentales ou nationales (Ibarzabal et al., 2009; Limoges, 2002).

L'Engoulevent bois-pourri (*Caprimulgus vociferus*), espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable au Québec selon la LOIEMV, niche sur les terrasses (Limoges, 2002). Son habitat de reproduction nécessite des espaces semi-ouverts. D'autres espèces nichent sur les terrasses comme le Junco ardoisé (*Junco hyemalis*), le Bruant à gorge blanche (*Zonotrichia albicollis*), le Bruant familier (*Spizella passerina*), qui eux aussi utilisent comme habitats des milieux semi-ouverts comme les lisères, clairière et peuplement en régénération (Limoges, 2002; Robert et al., 2019). Plusieurs espèces sont résidentes dans le secteur, dont des pics, des nyctales, des mésangeais et des mésanges (Limoges, 2002).

Plusieurs mammifères sont aussi présents sur les terrasses. Entre 2011 et 2013, des caméras furent placées dans un milieu ouvert colonisé de jeunes pins sur la terrasse supérieure. Elles capturèrent la présence de l'Orignal (*Alces alces*), du Cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*), du Renard roux (*Vulpes vulpes*) et du Lynx roux (*Lynx rufus*) (Villard et al., n.d.). Des micromammifères, le Lièvre d'Amérique (*Lepus americanus*), des mésoprédateurs tels que le Ratons laveur (*Procyon lotor*), la Martre d'Amérique (*Martes americana*),

l’Hermine (*Mustela erminea*) ainsi que de grands prédateurs tels que ; le Loup gris (*Canis lupus*), le Coyote (*Canis latrans*) ou encore l’Ours noir (*Ursus americanus*) ; sont susceptibles d’être présents dans le secteur (Prescott & Richard, 2014; Villard et al., n.d.). Le secteur de Tadoussac a également été identifié comme un potentiel lieu de rassemblement des chauves-souris durant leurs migrations. La Petite chauve-souris brune (*Myotis lucifugus*), la Chauve-souris rousse (*Lasiurus borealis*) et la Chauve-souris nordique (*Myotis septentrionalis*) y ont déjà été observées (ZICO et Villard et al., n.d.).

#### **4.3 Sols**

Le sol des terrasses est identifié comme un régosol (sol minéral très peu développé) dans les zones ensablées et des podzols plus ou moins développés dans les peuplements de résineux (Dignard, 1992). Une érosion éolienne a fortement altéré l’état physique du sol dans les espaces ensablés en enlevant les fines particules du sol. Celle-ci est particulièrement forte sur la terrasse supérieure où le sable fin laisse place à du sable grossier et des graviers (Limoges, 2002; Villard et al., n.d.). La propriété meuble du sol a provoqué d’importants glissements de terrain sur le talus Est de la terrasse inférieure. L’OOT a pu observer ce glissement à la suite de fortes pluies en 2019 (J.F. Therrien, communication personnelle, 14 novembre 2022). Un mauvais drainage identifié dans des analyses préliminaires (J. Nadeau, communication personnelle, 9 novembre 2022) et le peu de végétation pour stabiliser le sol pourrait en être la cause. Le sol est également compacté par le chemin du Moulin-à-Baude, la circulation de voiture et le stationnement de la terrasse inférieure (Lavoie & Gilbert, 2015; Limoges, 2002).

## 5. ANALYSE DES ENJEUX SOCIAUX, SCIENTIFIQUES ET ÉCOLOGIQUES DE L'ÉVOLUTION DU COUVERT FORESTIER

Les dunes de Tadoussac sont un écosystème dynamique en évolution depuis l'origine de ce paysage. Le portrait actuel dresse les attraits écologiques du territoire, ce qui met en avant l'intérêt de protéger ce milieu par la création d'un parc national. La fermeture du couvert forestier en cours suscite toutefois des interrogations et des préoccupations d'un point de vue écologique, scientifique et social. Deux possibilités d'avenir sont possibles selon les alternatives de gestion du futur parc national. La première serait de laisser faire les processus naturels de revégétalisation tandis que la deuxième propose un contrôle de la végétation pour préserver les dunes dans son état actuel.

Cette section présente d'abord une analyse du premier scénario de l'évolution du couvert forestier si aucune intervention n'est mise en place pour gérer la végétation. Elle s'en suit d'une analyse du deuxième scénario, soit quant à la pertinence de maintenir le couvert forestier ouvert sur toute sa superficie actuelle. Une table des conséquences résultant de ces deux alternatives est présentée comme outil d'aide à la décision. Un troisième scénario propose un compromis entre les deux premiers afin de prendre ce qu'il y a de meilleur dans chacun d'eux. Cette section se termine par une argumentation quant au choix de scénario à sélectionner pour l'avenir des dunes.

### 5.1 Premier scénario : fermeture du couvert forestier

Ce premier scénario décrit le futur des terrasses dans un contexte où la forêt reprendrait sa place aux terrasses et où aucune intervention humaine ne viendrait freiner, voir empêcher la fermeture du couvert forestier et le processus de succession écologique. Ce scénario analyse le paysage, la flore, la faune, le sol, ainsi que les enjeux sociaux et scientifiques.

#### 5.1.1. Paysage

Tout indique que le couvert forestier se fermera si aucune intervention ou contrôle de la végétation ne sont réalisés. C'est d'ailleurs ce qu'on observe dans des écosystèmes dunaires similaires en Europe (Provoost et al., 2011). Si la tendance des 58 dernières années présentée à la section 3.3 se maintient, l'aire ouverte ensablée devrait diminuer pour atteindre environ 0,24 km<sup>2</sup> en 2045. Elle risquerait d'être entièrement recouverte au minimum d'une végétation herbacée et arbustive d'ici 2077. Cette prédiction ne suppose aucune perturbation majeure, anthropique ou naturelle (feux, épidémie, sécheresse, coupe forestière). Elle suggère donc une succession se poursuivant au même rythme (Figure 6). C'est un gain

d'habitat pour la forêt boréale qui serait observé dans ce scénario. On parlerait alors d'homogénéisation du paysage à une plus grande échelle (paysage de forêt boréale). Dans ce scénario, la vue panoramique sur le fleuve Saint-Laurent pourrait ne plus être aussi importante, voire inexistante, et ce dans un futur plus ou moins lointain. L'aspect sablonneux rendant le paysage exceptionnel serait peu à peu effacé laissant place à une végétation basse puis à une forêt boréale côtière.

La succession secondaire bénéficie généralement de la présence des débris ligneux qui résultent des perturbations naturelles typique de la forêt boréale (feu, épidémie) ou des coupes forestières. Toutefois, le déboisement des dunes, l'agriculture qui s'en suivit et l'érosion éolienne ne laissèrent aucun bois mort à la surface du sol sur les terrasses (Swanson et al., 2011; Walker & del Moral, 2003). De plus, le sol érodé est devenu minéral et probablement dépourvu de ses banques de graines pourtant cruciales pour le repeuplement rapide et la restauration des milieux perturbés (Chen & Popadiouk, 2002; Swanson et al., 2011; Walker & del Moral, 2003). Des bouleaux à papier déracinés ont été observés dans la partie supérieure des terrasses subissant une érosion éolienne forte, ce qui ne favorise pas la fermeture du couvert à cet endroit (Dignard, 1992). Selon la littérature, la revégétalisation peut donc être plus au moins rapide selon les zones des terrasses (Swanson et al., 2011). Cependant, selon l'analyse de l'évolution historique à la section 3.3, la revégétalisation pourrait s'accélérer avec l'arrêt de la circulation des VTT.

### **5.1.2. Flore**

En absence de perturbations ou d'intervention, une modification de la communauté végétale pourrait être observée comme cela a été le cas lors des 60 dernières années à travers la succession écologique. Les surfaces dénudées actuelles seraient recolonisées (Clements, 1916; Connell & Slatyer, 1977). Les premières espèces à s'établir seraient des espèces pionnières, soit l'élyme des sables et la potentille à feuilles tridentées qui formeraient un tapis sur le substrat sableux et créeraient la première couche d'humus à leur mort (Connell & Slatyer, 1977). Les autres herbacées, les arbrisseaux et les espèces d'arbres des peuplements en bordure des espaces ensablés pourraient alors coloniser à leur tour le paysage. Les milieux forestiers voisins sont encore jeunes et composés d'espèces pionnières. On observerait donc un étalement de ces peuplements vers l'intérieur des aires ouvertes. En effet, le bouleau à papier, le pin gris et le peuplier faux-tremble sont des arbres pionniers dans les milieux post perturbation où le sol est à nu (Burns et al., 1990). Leur croissance est rapide et ils colonisent bien les sols sablonneux bien drainés (Burns et al., 1990). Les peuplements jeunes de peupliers qui ont recolonisé la terrasse inférieure ces dernières années se feraient peu à peu dominer par le sapin baumier. Celui-ci a une plus longue longévité et a la

capacité de se régénérer à l'ombre. L'épinette blanche pourrait rester dans le sous-étage pendant 50 à 70 ans avant de devenir dominante elle aussi (Burns et al., 1990).

L'apparition des arbres et d'une canopée dense provoquerait la disparition des espèces pionnières et des herbacées de début de succession (Chen & Popadiouk, 2002; Dignard, 1992; Lichter, 1998). Cela aurait comme conséquence de faire disparaître les populations de carex Bigelow et carex des glaces établis sur la terrasse supérieure, sensible à la compétition interspécifique et intolérante à l'ombre (Lavoie, 2014, 2020). Ces populations ne sont toutefois pas menacées ou en danger à l'échelle du Québec. En effet, le carex des glaces est une espèce commune dans l'Arctique québécois (Dignard, s. d.). Les autres espèces pionnières du début de succession et les espèces intolérantes à l'ombre disparaîtraient également, ce qui aurait pour conséquence une diminution de la richesse spécifique floristique comme le décrit la succession écologique (Chen & Popadiouk, 2002; Lichter, 1998). De plus, une étude réalisée au Pays-Bas dans des écosystèmes dunaires a montré que les dunes dominées par des herbacées avaient une plus faible diversité spécifique contrairement aux dunes ouvertes, notamment en lichens et mousse (Veer & Kooijman, 1997).

### **5.1.3. Faune**

Comme pour la flore, les espèces fauniques évolueraient au cours de la succession. La complexification de la structure du milieu forestier agrandirait l'habitat des espèces forestière des peuplements voisins actuels (Glenn-Lewin et al., 1992) et une augmentation de débris ligneux au sol et de chicots offrirait des ressources pour une diversité de faune utilisant le bois mort (Seibold et al., 2015). En effet, le bois mort est d'une grande valeur écologique (Seibold et al., 2015). Il permet aux espèces xylophage et saproxyliques ainsi que certaines espèces d'oiseaux comme les pics de se reproduire, de se reposer, s'abriter et s'alimenter (Smith, 2007). De plus, de nombreux lichens et bryophytes utilisent le bois mort comme habitat (Seibold et al., 2015).

Les changements de végétation et du paysage auraient un impact sur la faune aviaire. L'Engoulevent bois-pourri par exemple, un oiseau nicheur aux terrasses, (voir section 4.2) niche dans les forêts clairsemées et les lisières de forêt en régénération. Il fréquente les espaces sablonneux peuplés d'arbres épars, les sites perturbés en début de succession écologique ou les plantations de conifère ouvertes pour s'alimenter. Cet oiseau est absent des forêts denses (Wilson, 2003; Wilson & Watts, 2008). Avec la fermeture du couvert, cette espèce n'aura plus les conditions optimales à sa reproduction et à sa survie (Wilson, 2003). On peut supposé que cet exemple peut s'appliquer à d'autres espèces d'oiseaux présents aux dunes.

Les milieux semi-ouverts constituent des haltes migratoires pour les oiseaux migrateurs terrestres. La fermeture du couvert aurait donc un impact sur le couloir migratoire passant sur les terrasses de Tadoussac. Les haltes migratoires sont d'une grande importance. Elles permettent aux oiseaux de se reposer et de se nourrir pour reconstituer des réserves énergétiques afin de poursuivre leur migration (Moore et al., 1995; Schmaljohann et al., 2022). Ces haltes se concentrent près des barrières géographiques et des plans d'eau (Bonter et al., 2009), dans le cas présent, le fleuve Saint-Laurent. Pour sélectionner des aires de repos, les oiseaux utilisent notamment des indices vus du ciel (Chernetsov, 2006). Les dunes de Tadoussac constituent donc probablement un bon point de repère visuel. De surcroît, la forêt et l'aire ouverte ensablée représente des aires de repos de haute qualité. Les forêts constituent les haltes migratoires des oiseaux forestiers (Lafleur et al., 2016). Les habitats de début de succession dominée par des lisières sont aussi des aires de repos abondamment utilisées par une grande diversité d'espèces migratrices (Rodewald & Brittingham, 2004). La disponibilité des fruits dans ces habitats y est plus élevée et est favorable pour les frugivores (Rodewald & Brittingham, 2004). Ces mêmes milieux sont diversifiés et riches en insectes, ce qui est attrayant pour les oiseaux insectivores (Hilmers et al., 2018). Les captures et les observations faites par l'OOT aux dunes (Côté, 2020; Observatoire des oiseaux de Tadoussac, 2022) prouvent que la présence de milieux forestiers et d'une aire ouverte permet de créer une aire de repos de qualité pour une grande diversité d'espèces d'oiseaux. La fermeture du couvert nuirait donc à la présence d'oiseaux terrestres n'y trouvant plus les écosystèmes qui les amènent à s'arrêter aux dunes.

#### **5.1.4. Stabilisation des sols**

La revégétalisation des dunes aurait pour effet d'éliminer l'érosion éolienne observée aux dunes et de stabiliser le sol mobile qui provoque des glissements de terrain. Dès le début de la phase initiale de la succession, les deux espèces pionnières de sables présentes aux dunes, l'Élyme des sables et la Potentille à feuilles tridentées, commenceraient à diminuer la vitesse du vent et permettraient de stabiliser la couche superficielle du sol (Dignard, 1992). La végétation agit contre l'érosion de plusieurs façons. Tout d'abord, en recouvrant une partie de la surface du sol, les plantes diminuent la force du vent au niveau du sol par obstruction (Wolfe & Nickling, 1993). Par leur présence et leur densité, elles retiennent les particules de sol envolées qui se déposent à leur base (Wolfe & Nickling, 1993). En agriculture, la végétation sous la forme de cultures de couverture ou de haies brise-vent est reconnue comme un outil de lutte contre l'érosion des sols (Vézina, 2001). Le système racinaire des plantes et la matière organique présente dans le sol permettent la fixation de celui-ci et contribuent à la stabilité du substrat dans les pentes (Burri et al., 2009; Gray & Sotir, 1996; Reubens et al., 2007). À mesure que la végétation évoluera à travers la succession, l'apparition des arbustes et des arbres consoliderait la structure du sol, ce qui réduirait les

risques de glissement de terrain dans les fortes pentes des talus (Burri et al., 2009; Tosi, 2007). De plus, la végétation s'avère particulièrement efficace contre les glissement de terrains sur des sols sablonneux (Elahi et al., 2019).

La revégétalisation permettrait la modification du régosol en un sol organique pouvant soutenir une plus grande diversité d'espèce. Par exemple, la litière du bouleau à papier contribue au statut nutritif du sol en l'enrichissant avec du calcium, azote, phosphore, magnésium, potassium (Burns et al., 1990). Le peuplier faux-tremble joue également un rôle important dans le cycle des nutriments (Burns et al, 1990).

### **5.1.5. Enjeux sociaux et scientifiques**

En ce qui concerne les activités de l'OOT, les suivis de plusieurs espèces par observation visuelle, capture et bagage ne seraient plus être pérennes si le couvert se refermait. Certaines espèces pourraient modifier leur utilisation du site ou encore disparaître localement. En effet, il serait par conséquent difficile de distinguer si les variations temporelles des populations recensées découlent de la modification de l'environnement des dunes ou reflètent de réelles fluctuations de populations. L'OOT pourrait également faire face à des enjeux pour le suivi visuel de la migration si la hauteur des arbres devenait dérangeante et obstruait la vue. Le potentiel de suivi scientifique de ces populations serait donc réduit et perdrait de son importance.

La réaction de la population de Tadoussac et celle des autres régions face à ce scénario est aussi un enjeu. En 2013, la population de Tadoussac a partagé son opinion lors d'une consultation publique. L'importance de protéger ce milieu naturel à caractère unique dans son état actuel a été reconnue et les inquiétudes face à la colonisation des zones ensablée par la végétation ont été exprimées (Paradis, 2013). La fermeture du couvert forestier est donc un sujet délicat qui semble préoccuper la populations de Tadoussac et des villes voisines (Facebook, n.d.). En effet, le paysage dunaire semble être un aspect central de la fréquentation du site. Si la végétation reprend sa place, l'intérêt général pour le site et sa fréquentation risquent de chuter. Avec la diminution du nombre de visiteurs, la sépaq pourrait perdre des revenus. Il ne resterait que potentiellement quelques sentiers ayant des vues sur le fleuve et un camping dans la forêt, ce qui est similaire à ce qu'offre d'autres parcs nationaux de la sépaq, notamment le parc du Fjord-du-Saguenay situé à quelques kilomètres au sud-ouest. La sépaq souhaite également implanter des activités liées au paysage dunaire avec un aspect « expérience sable ». Cette expérience sable ne serait plus possible avec un laisser-aller de la végétation qui effacerait tout l'aspect sablonneux. Toutefois, il est difficile de documenter cet enjeu lié à la fréquentation des dunes. Des données qualitatives sur

l'acceptabilité sociale d'une fermeture du couvert pourraient être récolté à l'aide d'enquête auprès du public cible visitant les dunes. Cette enquête aurait pour but de documenter la perception du public et prendre en compte son opinion face à cet enjeu de conversation.

## **5.2 Deuxième scénario : maintien du paysage actuel**

Le deuxième scénario analyse les terrasses de Tadoussac dans un contexte de maintien des dunes et donc d'un contrôle de la végétation sur toute la superficie ouverte. Ce scénario analyse l'écosystème en milieu ouvert, la vulnérabilité aux changements climatiques et l'importance sociale et scientifiques et maintenir des dunes de sables.

### **5.2.1. Écosystème en milieu ouvert**

Maintenir le paysage ouvert signifie conserver l'hétérogénéité du paysage local et régional. Les paysages hétérogènes contiennent une variété de niches écologiques qui offrent une plus grande diversité de ressources et de microclimats. Cela favorise la richesse spécifique à une échelle plus grande et la conservation des espèces possédant une distribution régionale très restreinte, voir unique aux dunes de Tadoussac (García-Llamas et al., 2018; Oliver et al., 2010). Ces dernières sont entourées de forêt boréale et de forêt mixte. Il est donc intéressant de retrouver un milieu ouvert, qui favorise la présence d'une flore et d'une faune spécifique à ce type d'écosystème, soit des espèces pionnières, de milieux xériques et de lisière.

Le maintien des dunes permettrait également de garder un habitat propice à certaines espèces d'oiseaux. Le Junco ardoisé, le Bruant à gorge blanche, le Bruant familier et l'Engoulevent bois-pourri nichant sur les terrasses, bénéficient du fait que le milieu soit à la fois ouvert et fermé par la forêt adjacente (M. Wilson, 2003; M. D. Wilson & Watts, 2008; Robert et al., 2019). De plus, l'Engoulevent bois-pourri étant susceptible d'être menacé, préserver son habitat s'avère d'autant plus pertinent. Une des menaces de l'Engoulevent bois-pourri est la perte de son habitat par l'intensification agricole au sud de son aire de répartition et la prépondérance de forêts fermées au nord, limitant les paysages hétérogènes de milieux semi-ouverts (Gouvernement de l'Ontario, 2021). Selon les observations de l'OOT le milieu ouvert et semi ouvert des dunes permet la présence d'une grande diversité d'oiseaux migrateurs. Le paysage des dunes permet de maintenir une halte migratoire de qualité (voir section 5.1.3) et la diversité d'espèces d'oiseaux migratrices présentes sur le site. Lorsqu'en route vers le sud la présence d'une halte migratoire de qualité permet aux oiseaux migrateurs de bien se nourrir et de faire des réserves énergétiques avant la traversé du fleuve

Saint-Laurent. De ce fait, la protection des haltes migratoires est importante en amont des barrières écologiques devant être franchies (Petit, 2000).

Un paysage hétérogène composé de milieux ouverts et fermés est également bénéfique pour les chauves-souris. Celui-ci apporte une variété de conditions de repos, d'abris et de zones d'alimentation (Russo et al., 2007; Schnitzler & Kalko, 2001). Une forêt dense les protège contre les prédateurs qui dépendent de la vision et peuvent avoir de la difficulté à les localiser (Russo et al., 2007). Les milieux ouverts apportent des zones de repos plus chaudes et des sites de chasse exempts d'obstacles où il est plus simple de se déplacer (Patriquin & Barclay, 2003; Schnitzler & Kalko, 2001; Thomas et al., 2019). Selon la pression de prédation et la quantité d'insectes disponibles pour leur alimentation, elles peuvent donc choisir l'habitat qui convient le mieux à leurs besoins (Russo et al., 2007; Thomas et al., 2019).

Pour certaines espèces, le stade initial de succession écologique est le seul stade pouvant leur fournir un habitat adéquat. Les papillons nocturnes trouvés en région forestière dépendent de la qualité et de la diversité des espèces végétales de début de succession (Swanson et al., 2011). Certains coléoptères sont d'ailleurs spécialistes de ces habitats (Heyborne et al., 2003). Une étude montre que la diversité des espèces d'insectes est supérieure en début de succession écologique et qu'elle diminue par la suite (Hilmers et al., 2018). Bien qu'aucun inventaire des invertébrés n'ait été fait aux terrasses, on peut émettre l'hypothèse que la diversité floristique de début de succession présente sur la terrasse inférieure y favorise la diversité d'insectes.

Maintenir l'état des dunes a également pour signification la protection d'un milieu ouvert naturel créé par l'homme il y a plus d'un siècle. Les alpages, zones de pâturages dans les Alpes européennes, constituent eux aussi des paysages et milieux naturels ouverts façonnés par les activités humaines depuis des millénaires (Koch et al., 2013). Comme pour les terrasses de Tadoussac, ces alpages étaient autrefois des forêts. Le broutage de la végétation et le piétinement par le bétail ont eu pour conséquences de garder ces milieux montagnards ouverts et d'empêcher la forêt de reprendre du terrain (Koch et al., 2013). Ces prairies herbeuses ont été étudiées et reconnues pour leurs biodiversités (Koch et al., 2013). La faune et la flore s'y sont installées, adaptées et donc spécialisées au fil du temps. En effet, la richesse spécifique atteint son maximum lorsque la couverture boisée est faible (Pornaro et al., 2013). Les alpages font aujourd'hui face au reboisement suite à une diminution des activités pastorales et des études ont observé une perte de diversité des espèces (Anthelme et al., 2001; Freléchoux et al., 2007; Pornaro et al., 2013). Aujourd'hui les gestionnaires de la conservation et les scientifiques encouragent les activités de pâturage dans les alpages pour des intérêts sociaux, culturels (activités de loisir et tourisme), patrimoniaux

(tradition), économiques (production laitière) et écologiques (diversité d'espèces de milieux ouverts) (Koch et al., 2013). Cet exemple illustre la pertinence de maintenir les dunes dans un état ouvert pour préserver la diversité du paysage, la diversité des espèces, la formation géologique exceptionnelle et les activités humaines sur le site (tourisme, loisir et activités scientifiques de l'OOT).

En Europe, au 19<sup>e</sup> siècle, l'effort a longtemps été mis sur la stabilisation et le reboisement des dunes côtières (Martínez et al., 2013; Prach et al., 2021). Aujourd'hui la valeur écologique de cet écosystème ouvert a été décrite (Grootjans et al., 2004), et les actions de conservation tendent vers la restauration de ces dunes pour conserver la faune et la flore spécialisées (Everard et al., 2010; Martínez et al., 2013). Il existe aujourd'hui plusieurs milieux naturels dans le monde subissant des interventions humaines continues dans le but de maintenir la biodiversité des écosystèmes dunaires (Bar (Kutiel), 2013; Hewett, 1985; Prach et al., 2021; Provoost et al., 2011). Des projets de restauration de la biodiversité des dunes de sables ont même été mise en place avec la coupe du couvert forestier (Bar (Kutiel), 2013; Office national des forêts, 2022).

La science de la conservation a pour objectif de protéger et conserver des milieux naturels et des espèces ciblées dans un espace défini et dans le temps. Dans le deuxième scénario, il s'agit de maintenir un état stable. Or, il faut garder à l'esprit que les écosystèmes sont par définition dynamiques et qu'aucune communauté n'est statique dans le temps. « Préserver » le milieu des dunes de la succession écologique implique des enjeux en termes d'entretien, de coûts, de temps, de suivis en plus de toute une logistique pour contrôler la revégétalisation. D'ailleurs, un contrôle de la végétation ne met pas entièrement les gestionnaires à l'abri d'un changement de l'écosystème dans le contexte des changements climatiques.

### **5.2.2. Vulnérabilité face au changement climatique**

Pour une vision à long terme, les changements climatiques et leurs enjeux doivent être pris en compte dans l'analyse des scénarios. Les changements de température occasionnent des changements de précipitations, soit l'augmentation des périodes de sécheresses prolongées en été ou l'intensification d'épisode de fortes pluies au printemps et à l'automne (Bush & Lemmen, 2019; Vincent et al., 2015). Lors des suivis du carex des glaces et du carex de Bigelow, Lavoie a identifié à plusieurs reprises leurs vulnérabilités aux sécheresses estivales (Lavoie, 2014). Selon l'Atlas climatique du Canada, le nombre de journées très chaudes (>30°) et la durée moyenne des vagues de chaleur à Tadoussac pourraient fortement augmenter (Prairie Climate Centre, 2019). Maintenir un paysage ouvert, même dans le cadre d'un parc national, ne permettra pas la protection de ces espèces avec certitude dans un contexte de

changements climatiques. Les sécheresses pourraient également intensifier l'érosion éolienne (Wolfe & Nickling, 1993) ou amplifier la désertification des dunes. Les journées de précipitation fortes (20mm) à Tadoussac sont en augmentation dans tous les scénarios des impacts des changements climatiques de l'Atlas climatique du Canada (Prairie Climate Centre, 2019). L'augmentation des précipitations extrêmes a le potentiel d'aggraver les glissements de terrains déjà visibles dans le talus de la terrasse inférieure (Gariano & Guzzetti, 2016).

Aucune espèce exotique envahissante (EEE) n'est encore présente sur les terrasses (Dignard, 2006). Cependant, dans le cadre d'un maintien ouvert du paysage, cet écosystème peut s'avérer très vulnérable à la prolifération des EEE. Celles-ci sont une menace pour la biodiversité indigène, les services écosystémiques et donc le bien-être humain (Hejda et al., 2009; Vilà et al., 2011). Les changements climatiques peuvent favoriser le succès des EEE qui prolifèrent dans des milieux naturels perturbés face à des espèces indigènes moins bien adaptées à un climat en transition (Dukes & Mooney, 1999). Le nombre de visiteurs et une augmentation des températures et des pluies aux terrasses pourrait favoriser l'apparition des EEE habituellement retrouvées plus au sud (Dukes & Mooney, 1999). De plus, une zone d'habitation dans la partie sud-ouest des dunes est encerclée par le territoire du gouvernement visé par le projet de parc national. Si les habitants de cette zone introduisent des espèces exotiques dans leurs jardins, celles-ci pourraient s'établir et coloniser les dunes. Le stade initial de succession est avantageux pour les EEE ayant une dispersion rapide, étant particulièrement compétitives et mieux adaptées aux nouvelles conditions environnementales que les espèces indigènes de début de succession (Dukes & Mooney, 1999). En Europe, les écosystèmes dunaires côtiers sont parmi les plus touchés par les invasions biologiques étant des écosystèmes très visités et aménagés par l'homme (Giulio et al., 2020).

### **5.2.3. Importance sociale et scientifique du maintien des dunes**

Ce paysage est intéressant d'un point de vue écologique, mais aussi d'un point de vue social qu'il est important de considérer. Le site permet l'observation des oiseaux et des mammifères marins grâce à son panorama exceptionnel sur le fleuve Saint-Laurent. Lors de la consultation publique auprès de la municipalité de Tadoussac en 2013, les citoyens ont semblé très attachés à ce lieu historique et à leur jouissance du paysage dunaire (Paradis, 2013). La fréquentation du site semble liée à son aspect dunaire. Les activités préliminaires proposées par le Sépaq dans le cadre du futur parc national permettraient de favoriser le bien-être humain en connectant les visiteurs à la nature. Les activités éducatives à l'environnement autour des activités scientifiques de l'OOT, décrites ci-dessous, et la sensibilisation à l'écosystème des dunes seraient bénéfiques pour la société.

La concentration d'oiseaux sur le site des dunes en fait un site important pour la recherche scientifique sur les populations aviaires et le milieu ouvert est particulièrement propice à l'observation des oiseaux (Ibarzabal, 1999; Limoges, 2002). Le secteur des dunes est un lieu privilégié pour l'OOT. Les activités de suivis visuels et de capture pour le bagage se déroulent sur l'aire ouverte ensablée de la terrasse inférieure pendant la migration automnale (Explos-Nature, 2022). Des programmes de surveillance de la migration de la Petite Nyctale (*Aegolius acadicus*) et de la Nyctale de Tengmalm (*Aegolius funereus*) y sont effectués depuis 1996. Ils sont parmi les rares suivis réalisés en milieu boréal (Côté, 2020). De plus, l'OOT est le meilleur observatoire de l'Est nord-américain pour le suivi de plusieurs espèces de rapaces comme l'Autour des palombes (*Accipiter gentilis*), la Buse à queue rousse (*Buteo jamaicensis*), la Buse pattue (*Buteo lagopus*), le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*), l'Aigle royale (*Aquila chrysaetos*), le Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*), la Pygarde à tête blanche (*Haliaeetus leucocephalus*) (Bélisle et al., 2001). Ces trois dernières espèces possèdent le statut d'espèce vulnérable au Québec en vertu de la LOIEMV. Les oiseaux observés à l'OOT viennent d'un territoire plus circonscrit géographiquement que les autres observatoires nord-américains, ce qui lui permet d'être le seul à pouvoir faire un suivi local des espèces boréales et arctiques (Bélisle et al., 2001). L'OOT est aussi l'un des plus importants contributeurs au Canada, en termes du nombre d'oiseaux bagués. Maintenir les dunes dans son état actuel semble pertinent pour conserver les activités scientifiques de l'OOT.

### **5.3 Outil d'aide à la décision**

Afin de prendre une décision réfléchie quant à la gestion du milieu naturel des terrasses de Tadoussac, une table de conséquence a été créée selon le modèle de Gregory et ses associés (Gregory et al., 2012) (Tableau 1). Cet outil synthétise l'analyse des sections précédentes 5.1 et 5.2 et permet de comparer les conséquences, soit les avantages et les inconvénients entre les deux scénarios analysés ci-dessus. Cette table est basée sur des critères jugés importants pour les acteurs des terrasses marines de Tadoussac et la vision du futur parc national.

**Tableau 1 Table de conséquences basées sur différents critères et selon les deux alternatives de gestion de la végétation des terrasses marines de Tadoussac.** Les cases en vert signifient des conséquences positives et les cases en rouge des conséquences négatives ou des contraintes.

<b>Critères</b>	<b>Revégétalisation naturelle (scénario 1)</b>	<b>Intervention et contrôle de la végétation (scénario 2)</b>
<b>Effet sur l'écosystème</b>		
- <b>Effets sur la biodiversité</b>	<p>Gain d'habitat de la forêt boréale côtière.</p> <p>Perte de richesse spécifique à l'échelle du paysage.</p> <p>Impact sur la diversité d'espèces aviaires faisant halte aux dunes.</p>	<p>Hétérogénéisation du paysage régional.</p> <p>Richesse spécifique due à la diversité d'habitat à l'échelle du paysage.</p> <p>Halte migratoire de qualité qui favorise la diversité d'espèces aviaires de passage.</p>
- <b>Effets sur les espèces cibles (rares, charismatiques, à statut précaire)</b>	<p>Pertes des deux espèces de carex situé sur la terrasse supérieure suite à la succession écologique et la compétition interspécifique.</p> <p>Disparition des communautés d'herbacées de début de succession et de milieu xérique</p>	<p>Potentiel de protection et de conservation des deux carex situés sur la terrasse supérieure. Suivi scientifique de ces populations et intérêt biologique pour leur situation exceptionnelle.</p> <p>Présence de communautés d'herbacées de début de succession et de milieux xérique.</p>
- <b>Effets sur le substrat/sol</b>	<p>Régénération du sol organique. Création d'une couche d'humus et des horizons.</p> <p>Stabilisation des dunes par l'enracinement de la végétation de type dunaire, des herbacées, des arbustes et des arbres. Diminution de l'érosion.</p>	<p>Sol pauvre et minéral. Régosol</p> <p>Érosion et glissement de terrain lié au déboisement de la zone et mauvais drainage. Érosion future peut s'accroître avec les changements climatiques.</p>
<b>Services écosystémiques</b>	<p>Stabilisation du sol par la végétation</p> <p>Résilience du milieu face au changement climatique</p> <p>Formation d'un sol et enrichissement du sol</p>	<p>Service culturel : récréation, valeurs esthétique et scientifique.</p>

<p><b>Effets sur les activités scientifiques de l'OOT</b></p>	<p>Manque de constance dans la prise de donnée du suivi aviaire. Réajustement à faire dans le suivi et les méthodes de comparaison des années si le paysage change, car l'habitat change.</p> <p>Influence du couvert forestier sur les espèces observées et sur le succès de capture. Les espèces étant capturées peuvent changer.</p> <p>Observation et suivi de la migration compliquée sans un élagage des arbres trop haut pouvant cacher la vue</p>	<p>Permet de continuer les activités de bagages dans les zones semi-ouvertes et ouvertes.</p> <p>Permet de garder une constance dans la prise de donnée sur les populations aviaire.</p> <p>Maintien d'un habitat inchangé et stable dans le temps.</p> <p>Participation à la connaissance scientifique mondiale et au suivi des écosystèmes boréaux et arctiques.</p> <p>Sensibilisation et éducation auprès du public</p>
<p><b>Effets sur les activités de tourisme de la Sépaq</b></p>	<p>Perte de la vue sur le fleuve-Saint Laurent et de l'observation de la faune marine et aviaire.</p> <p>Le nom parc des « Dunes de Tadoussac » devient problématique si les Dunes disparaissent. Acceptabilité sociale.</p> <p>Activité expérience sable Sépaq non pérenne.</p>	<p>Vue sur le fleuve-Saint Laurent. Observation des mammifères marins et de la faune aviaire.</p> <p>Activité de l'expérience sable de la Sépaq pérenne</p> <p>Activités d'éducation et de sensibilisation associé à l'OOT.</p>
<p><b>Effets sur les populations locales de Tadoussac / Acceptabilité sociale</b></p>	<p>Potentielle mauvaise acceptabilité sociale. Besoin d'informer et de sensibiliser le public à la problématique.</p>	<p>Paysage unique et exceptionnel et historique conserver.</p>
<p><b>Conformité au cadre légal</b></p>		<p>Conformité d'un point de vue légal et conforme à la politique sur les parcs :</p> <p>Article 20 du Règlement sur les parcs : Permet l'abatage d'arbres ou arbustes pour des fins scientifiques ou de gestion.</p> <p>Politique sur les parcs nationaux du Québec contient une orientation sur la gestion adaptative.</p> <p>Zonage à établir en prenant en compte le contrôle de la végétation.</p>
<p><b>Coût financier et temps</b></p>	<p>Possible diminution d'intérêt pour le site qui entraîne une diminution des visiteurs aux dunes. Possibilité de perte de revenus pour la sépaq.</p>	<p>Coût financier à prendre en compte pour l'entretien du paysage ouvert. Des frais de désherbage/jardinage.</p> <p>Temps à allouer pour l'entretien de la végétation et possible difficulté à contrôler le couvert végétale</p>

<b>Éthique</b>	But de conservation : Protection du milieu naturel des forêts mixtes froides typique d'une sapinière à bouleau blanc.	Parc national dont le but est de conserver et protéger un milieu naturel d'origine anthropique et d'interférer dans le processus naturel.
	Réponds bien à la définition d'une aire protégée pour sa restauration.	Campagne de vulgarisation et d'information auprès du public nécessaire pour expliquer les actions d'interventions.

#### 5.4 Troisième scénario : le compromis

Ce troisième scénario propose simplement un compromis entre les deux scénarios précédents. Il prend en compte les points positifs et négatifs des deux premiers scénarios pour maximiser les avantages et limiter les inconvénients (voir Tableau 1). Il s'agit donc d'intervenir pour maintenir un paysage dunaire seulement dans certaines zones contenues dans la superficie actuellement ouverte. Les zones d'interventions, soit celles qui seraient entretenues pour maintenir le couvert ouvert, seraient identifiées selon des critères précis d'intérêt social, scientifique et écologique. Ces zones contrôlées seraient donc importantes pour maintenir le caractère exceptionnel du paysage ; c'est-à-dire les vues sur le fleuve-Saint-Laurent, l'aspect sablonneux typique des dunes ; mais aussi pour le maintien de la biodiversité et des activités de l'OOT. D'autres secteurs pourraient être laissés à eux-mêmes et se régénérer naturellement. Cela confèrerait l'avantage, notamment quant au problème d'érosion, d'atténuer les effets négatifs d'une approche interventionniste en laissant se revégétaliser certains secteurs clés.

#### 5.5 Scénario recommandé

Suite à ces différentes analyses, il est possible de sélectionner le scénario le plus adéquat pour le futur parc national des Dunes-de-Tadoussac. La comparaison des différents critères présentés dans le tableau 1 a participé à choisir le scénario le plus pertinent. Le deuxième scénario possède plus de critères positifs (verts), c'est-à-dire 7 verts contre 4 pour le premier scénario. De plus, le deuxième scénario a moins de critères négatifs (3 rouges) que le premier scénario (6 rouges). Le deuxième scénario, c'est-à-dire le contrôle de la végétation, semblerait donc être le plus pertinent. Aussi, certains arguments ont plus d'importance que d'autres. La diversité spécifique de la flore et de la faune observées aux dunes est pertinente à préserver étant donné que ce milieu est entouré de forêt exempte de ces espèces. L'hétérogénéité du paysage est largement acceptée comme bénéfique pour la biodiversité (García-Llamas et al., 2018; Oliver et al., 2010). Les activités scientifiques sont importantes à maintenir et les bénéfices sociaux sont forts dans un scénario où le paysage resterait ouvert. Toutefois, le troisième scénario

proposant un compromis dans le maintien des dunes est celui finalement recommandé dans cette étude. L'érosion, une des problématiques du deuxième scénario, peut être évitée grâce à la revégétalisation des pentes sujette à glissement de terrain proposé dans le troisième scénario. Celui-ci propose donc un bon compromis.

## 6. RECOMMANDATION

L'analyse des trois scénarios a permis de mettre en lumière la pertinence du troisième scénario. Ce scénario propose de sélectionner des zones qui seront revégétalisées naturellement et maintenir le restant des aires ensablées dans son état actuel pour garder le paysage dunaire.

Les recommandations suivantes ont pour but de donner cinq pistes d'actions écologiques et sociales à court et moyen terme pour soutenir le MELCCFP dans la gestion du couvert forestier dans le cadre du futur parc national. Elles sont présentées dans un ordre logique et sont d'égale valeur

**1 : Caractériser et cibler les zones de contrôle de la végétation et leurs intensités.** Déterminer une ou des zones d'intervention de différentes intensités afin de garder un milieu dunaire ouvert tout en permettant la croissance de certains taxons dans certaines zones. Par exemple, les herbacées pourraient limiter l'érosion tout en permettant de garder la vue exceptionnelle sur le fleuve Saint-Laurent, ainsi que les activités d'observation, de capture et de bagage des oiseaux migrateurs. Un retrait des semis d'arbres et/ou d'arbustes pourrait ainsi être fait de façon annuelle dans sur le contour de l'aire ensablée, tout en laissant la végétation basse d'herbacée s'installer dans les fortes pentes. Cela aurait pour but de réduire l'érosion dans les talus des terrasses à fort risque d'érosion et de glissement de terrain pouvant augmenter avec les changements climatiques. La caractérisation de zones d'intervention permettra de réaliser un plan de gestion du contrôle de la végétation.

**2 : Déterminer des méthodes d'éclaircies et/ou débroussaillage de la végétation dans les zones du territoire sélectionnées.** Ces méthodes doivent avoir un minimum d'impact sur le milieu naturel. L'utilisation de méthodes chimiques est à proscrire pour ne pas dégrader le milieu entraînant des impacts indésirables. Des méthodes manuelles ou mécaniques seraient à étudier en prenant exemple sur les méthodes utilisées dans d'autres milieux naturels contrôlés.

**3 : Établir un plan de suivi à long terme de la végétation.** Un plan de suivi permettra de garder un œil sur la revégétalisation et d'établir une gestion adaptative selon l'évolution du milieu et de l'efficacité des techniques employées pour le contrôle de la flore. Ce plan devra également intégrer un suivi des espèces spécifiques de milieux ouverts d'intérêt. Un suivi des espèces exotiques envahissantes.

**4 : Sensibiliser et informer le public à la dynamique de changement des écosystèmes** (succession écologique). Cela a pour but de convaincre de la pertinence des actions de contrôle de la végétation à

Tadoussac. Des panneaux de vulgarisation pour expliquer cette dynamique et les actions de contrôle de la végétation pour le maintien du paysage ouvert auraient avantage à être installés sur le site. Cela permettra une compréhension et une bonne acceptabilité sociale de la gestion du territoire.

**5 : Réaliser une enquête auprès de la population de Tadoussac, des villes voisines et des visiteurs des autres régions.** Cette enquête aurait pour but de récolter leur opinion sur une éventuelle fermeture du couvert forestier et sur le maintien des dunes actuel. Cela permettra d'enrichir les informations connues sur la perception du public face à ces enjeux et de prendre en considération leurs opinions.

## 7. CONCLUSION

Le paysage dunaire tient ses origines du 19<sup>e</sup> siècle lors de l'exploitation forestière et agricole des terrasses. Depuis, le couvert végétal reprend du terrain et la superficie de l'aire ouverte ensablée est passée de 87 ha en 1964 à 45 ha en 2021. L'aire ensablée a diminué au taux constant de 0,8 ha / an sur cette période de 58 ans entre 1964 et 2021. À ce rythme, les portions ensablées des dunes seront entièrement recouvertes au minimum d'une végétation herbacée et arbustive d'ici 2077. Mais, la vitesse de la revégétalisation pourrait augmenter suite à l'arrêt de la circulation des VTT qui ont un impact sur la revégétalisation. Cette étude avait pour objectif de conseiller le MELCCFP sur la pertinence d'intervenir, ou non, sur son territoire visé par la création d'un parc national. Pour ce faire, l'étude a analysé les implications et enjeux liés au maintien du paysage dunaire ou à la fermeture du couvert forestier des dunes de Tadoussac dans deux scénarios. Le portrait écologique actuel a servi d'appui pour réaliser l'évolution de ses deux scénarios possibles. Le premier scénario proposait de laisser la succession naturelle suivre son cours tandis que le deuxième scénario proposait d'intervenir et de contrôler la végétation pour garder le milieu dunaire actuel sur toute sa superficie. Un troisième scénario de compromis entre les deux précédents a été proposé afin de garder le plus d'avantages possible et limiter les inconvénients. Cette analyse a permis de mettre en lumière la pertinence d'agir pour empêcher le couvert forestier de se refermer tout en laissant certaines zones se revégétaliser pour limiter les risques d'érosion comme le suggère le troisième scénario. L'importance de l'aspect social, scientifique et de l'hétérogénéité du paysage permettant une plus grande diversité spécifique ont été des critères importants pour recommander de choisir le troisième scénario. Les recommandations d'actions à poser à courts et moyens termes permettront la réussite de la mise en œuvre le troisième scénario et d'effectuer une bonne gestion de projet.

## 8. LISTE DES RÉFÉRENCES

- Anthelme, F., Grossi, J.-L., Brun, J.-J., & Didier, L. (2001). Consequences of green alder expansion on vegetation changes and arthropod communities removal in the northern French Alps. *Forest Ecology and Management*, 145(1), 57-65. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00574-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00574-0)
- Bar (Kutiel), P. (2013). Restoration of Coastal Sand Dunes for Conservation of Biodiversity : The Israeli Experience. In M. L. Martínez, J. B. Gallego-Fernández, & P. A. Hesp (Éds.), *Restoration of Coastal Dunes* (p. 173-185). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33445-0\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33445-0_11)
- Bélisle, M., Imbeau, L., & Mazerolle, M. (2001). *Dénombrements de rapaces diurnes par l'observatoire d'oiseaux de Tadoussac : Recommandations pour l'analyse statistique des tendances de population*.
- Bellavance, D. (2021). *Avis géomorphologique concernant le projet de parc national dans le secteur des « Dunes de Tadoussac »*. Direction de la connaissance écologique (DCE), Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).
- Bonter, D. N., Gauthreaux Jr, S. A., & Donovan, T. M. (2009). Characteristics of Important Stopover Locations for Migrating Birds : Remote Sensing with Radar in the Great Lakes Basin. *Conservation Biology*, 23(2), 440-448. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01085.x>
- Burns, Russel M, & Barbara H. Honkala. (1990). *Silvics of North America : 1. Conifers; 2. Hardwoods* (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC., Vol. 2).
- Burri, K., Graf, F., & Böll, A. (2009). Revegetation measures improve soil aggregate stability : A case study of a landslide area in Central Switzerland. *For. Snow Landsc. Res.*, 16.
- Bush, E., & Lemmen, D. S. (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada*. gouvernement du Canada.
- Chen, H. Y., & Popadiouk, R. V. (2002). Dynamics of North American boreal mixedwoods. *Environmental Reviews*, 10(3), 137-166. <https://doi.org/10.1139/a02-007>
- Chernetsov, N. (2006). Habitat selection by nocturnal passerine migrants en route : Mechanisms and results. *Journal of Ornithology*, 147(2), 185-191. <https://doi.org/10.1007/s10336-006-0064-6>
- Clements, F. E. (1916). *Plant Succession : An Analysis of the Development of Vegetation*. Carnegie Institution of Washington.
- Connell, J. H., & Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization. *The American Naturalist*. <https://doi.org/10.1086/283241>
- Côté, P. (2020). *Rapport annuel 2019 de l'Observatoire d'oiseaux de Tadoussac* (p. 16). Explos-Nature.
- Dignard, N. (s. d.). *Carex des glaces*. 2.

- Dignard, N. (1992). *Inventaire de la végétation et de la flore de quatre secteurs du parc du Saguenay*. (p. 101) [Préparé pour la Direction du plein air et des parcs du ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec.]. Direction de la recherche, ministère des Forêts du Québec.
- Dignard, N. (2006). La situation du carex des glaces (*Carex glacialis* Mackenzie p09) au Québec. *Herbier du Québec, Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et de la Faune*, 14.
- Dukes, J. S., & Mooney, H. A. (1999). Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology & Evolution*, 14(4), 135-139. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01554-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01554-7)
- Elahi, T. E., Islam, M. A., & Islam, M. (2019). *Effet of the vegetation and nailing for prevention of landslides in Rangamati*.
- Evans, T. (n.d.). *The Sand Dunes—Les dunes de sable Moulin Baude*. tidesoftadoussac. <https://fr.tidesoftadoussac.com/dunes>
- Everard, M., Jones, L., & Watts, B. (2010). Have we neglected the societal importance of sand dunes? An Ecosystem Services perspective. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(4), Art. 4. <https://doi.org/10.1002/aqc.1114>
- Explos-Nature. (2022). *Observatoire d'oiseaux de Tadoussac – Programmes*. <http://www.explosnature.ca/oot/programmes-2/>
- Facebook. (n.d.). (6) *Luttons pour la liberté de l'accès aux Dunes de Sables*. | Facebook. [https://www.facebook.com/people/Luttons-pour-la-libert%C3%A9-de-lacc%C3%A8s-aux-Dunes-de-Sables/100069494018081/?paipv=0&eav=AfZ53U\\_f\\_s8sFpbJvQbRCEdHtPBaELEd7lxx8VV0OuWrzZVbV7a3XiNZIQnXvqEt-Vk&\\_rdr](https://www.facebook.com/people/Luttons-pour-la-libert%C3%A9-de-lacc%C3%A8s-aux-Dunes-de-Sables/100069494018081/?paipv=0&eav=AfZ53U_f_s8sFpbJvQbRCEdHtPBaELEd7lxx8VV0OuWrzZVbV7a3XiNZIQnXvqEt-Vk&_rdr)
- Freléchoux, F., Meisser, M., & Gillet, F. (2007). Succession secondaire et perte de diversité végétale après réduction du broutage dans un pâturage boisé des Alpes centrales suisses. *Botanica Helvetica*, 117(1), 37-56. <https://doi.org/10.1007/s00035-007-0791-1>
- García-Llamas, P., Calvo, L., De la Cruz, M., & Suárez-Seoane, S. (2018). Landscape heterogeneity as a surrogate of biodiversity in mountain systems : What is the most appropriate spatial analytical unit? *Ecological Indicators*, 85, 285-294. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.026>
- Gariano, S. L., & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227-252. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
- Giulio, S., Acosta, A. T. R., Carboni, M., Campos, J. A., Chytrý, M., Loidi, J., Pergl, J., Pyšek, P., Isermann, M., Janssen, J. A. M., Rodwell, J. S., Schaminée, J. H. J., & Marcenò, C. (2020). Alien flora across European coastal dunes. *Applied Vegetation Science*, 23(3), 317-327. <https://doi.org/10.1111/avsc.12490>
- Glenn-Lewin, D. C., Peet, R. K., & Veblen, T. T. (1992). *Plant Succession : Theory and prediction*. Springer Science & Business Media.

- Google Earth (2021, 2012). *Tadoussac, 48°09'-48°08' N, 69°40'-69°39' W*. CNES / Airbus, Landsat / Copernicus, Maxar Technologies. [Image satellitaire].
- Gouvernement de l'Ontario. (2021). *Engoulement bois-pourri*. ontario.ca. <http://www.ontario.ca/fr/page/engoulement-bois-pourri>
- Gray, D. H., & Sotir, B. S. (1996). *Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization : A Practical Guide for Erosion Control*. [https://books.google.ca/books?hl=fr&lr=&id=kCbp6lvFhrAC&oi=fnd&pg=PA1&ots=JTedKTWk9i&sig=ai0gSXEN4dMq23N4a7Qa8pjc3zl&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.ca/books?hl=fr&lr=&id=kCbp6lvFhrAC&oi=fnd&pg=PA1&ots=JTedKTWk9i&sig=ai0gSXEN4dMq23N4a7Qa8pjc3zl&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T., & Ohlson, D. (2012). *Structured Decision Making : A Practical Guide to Environmental Management Choices*. John Wiley & Sons.
- Grootjans, A. P., Adema, E. B., Bekker, R. M., & Lammerts, E. J. (2004). Why Coastal Dune Slacks Sustain a High Biodiversity. In M. L. Martínez & N. P. Psuty (Éds.), *Coastal Dunes : Ecology and Conservation* (p. 85-101). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-74002-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74002-5_6)
- Hejda, M., Pyšek, P., & Jarošík, V. (2009). Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. *Journal of Ecology*, *97*(3), 393-403. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01480.x>
- Hewett, D. G. (1985). Grazing and mowing as management tools on dunes. In W. G. Beeftink, J. Rozema, & A. H. L. Huiskes (Éds.), *Ecology of coastal vegetation : Proceedings of a Symposium, Haamstede, March 21–25, 1983* (p. 441-447). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-5524-0\\_49](https://doi.org/10.1007/978-94-009-5524-0_49)
- Heyborne, W. H., Miller, J. C., & Parsons, G. L. (2003). Ground dwelling beetles and forest vegetation change over a 17-year-period, in western Oregon, USA. *Forest Ecology and Management*, *179*(1), 123-134. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00490-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00490-5)
- Hilmers, T., Friess, N., Bässler, C., Heurich, M., Brandl, R., Pretzsch, H., Seidl, R., & Müller, J. (2018). Biodiversity along temperate forest succession. *Journal of Applied Ecology*, *55*(6), 2756-2766. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13238>
- Ibarzabal, J. (1999). Tadoussac : Un site de migration des oiseaux de proie. *Le Naturaliste canadien*, *123*(3), 11-18.
- Ibarzabal, J., Côté, P., & Drolet, B. (2009). Tadoussac : Sentinelle ornithologique de la forêt boréale au parc national du Saguenay. *Le Naturaliste canadien*, *133*(3), 27.
- Koch, Hofer, G., Walter, T., & Edwards, P. J. (2013). *Biodiversité dans les alpages embroussaillés—Recommandations pour l'exploitation des alpages riches en espèces connaissant des problèmes d'embroussaillage*. Agroscope, Université de Zurich.
- Kutiel, P., Eden, E., & Zhevelev, Y. (2000). Effect of experimental trampling and off-road motorcycle traffic on soil and vegetation of stabilized coastal dunes, Israel. *Environmental Conservation*, *27*(1), 14-23. <https://doi.org/10.1017/S0376892900000035>

- Lafleur, J. M., Buler, J. J., & Moore, F. R. (2016). Geographic position and landscape composition explain regional patterns of migrating landbird distributions during spring stopover along the northern coast of the Gulf of Mexico. *Landscape Ecology*, 31(8), 1697-1709. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0354-1>
- Lavoie, N. (2012). *Le carex des glaces : Un enjeu de conservation*. Blogue de conservation de Parcs Québec. <https://www.sepaq.com/parcs-quebec/blogue/article.dot?id=c4cd4fb6-81a4-4dfd-8c9a-9e8abc0e97c9>
- Lavoie, N. (2014). *Evolution des colonies du carex des glaces (Carex glacialis) et du carex de Bigelow (Carex bigelowii) sur le terrasses marines à Tadoussac : Bilan 2010 -2014* (p. 42). Parc national du Fjord-du-Saguenay.
- Lavoie, N. (2020). *Carex des glaces – été 2020*. Parc national du Fjord-du-Saguenay.
- Lavoie, N., & Gilbert, R. (2015). *Suivi des terrasses marines, RÉSULTATS, Année 2015*. Parc national du Saguenay.
- Lichter, J. (1998). Primary Succession and Forest Development Oncoastal Lake Michigan Sand Dunes. *Ecological Monographs*, 68(4), 487-510. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1998\)068\[0487:PSAFDO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1998)068[0487:PSAFDO]2.0.CO;2)
- Limoges, B. (2002). *ZICO de Tadoussac, une fenêtre sur la Boréale, plan de conservation* (p. 69). Union québécoise pour la conservation de la nature, Parc national du Saguenay, Fédération canadienne de la nature et Études d'oiseaux Canada. <http://numerique.banq.qc.ca/>
- Liste des espèces floristiques et fauniques susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables, RLRQ c E-12.01, r 5, <<https://canlii.ca/t/6ccwd>> consulté le 2022-12-07
- Loi sur les espèces menacées ou vulnérables, RLRQ c E-12.01, <<https://canlii.ca/t/6dms7>> consulté le 2022-12-07
- Martínez, M. L., Hesp, P. A., & Gallego-Fernández, J. B. (2013). Coastal Dunes : Human Impact and Need for Restoration. In M. L. Martínez, J. B. Gallego-Fernández, & P. A. Hesp (Éds.), *Restoration of Coastal Dunes* (p. 1-14). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-33445-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-33445-0_1)
- McClure, C. J. W., Dunn, L., Buechley, E. R., Juergens, P., Oleyar, D., Goodrich, L. J., & Therrien, J.-F. (2022). Conservation assessment of raptors within the USA and Canada. *Biological Conservation*, 272, 109633. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109633>
- MFFP. (2022). *Carte écoforestière originale et résultats d'inventaire*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/resultats-d-inventaire-et-carte-ecoforestiere>
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (1964). Q64188\_220 [Photographie aérienne]. Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (1972). Q72816\_076, Q72816\_080 [Photographie aérienne]. 1:15 0000, noir et blanc, Gouvernement du Québec.

- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (1981). Q81840\_130, Q81840\_149 [Photographie aérienne]. 1:15 0000, noir et blanc, Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (1994). HMQ94137\_016[Photographie aérienne]. 1:15 0000, noir et blanc, Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles (2002). Q02800\_027 [Photographie aérienne]. 1:40 0000, noir et blanc, Gouvernement du Québec.
- Ministère des Ressources Naturelles Canada (1950). A12490 [photographie aérienne analogique]. 1 :40 000, Gouvernement du Canada.
- Moore, F. R., Gauthreaux, S. A., Kerlinger, P., & Simons, T. R. (1995). *Habitat requirements during migration : Important link in conservation*.
- Morneau, C., & Payette, S. (1989). Postfire lichen–spruce woodland recovery at the limit of the boreal forest in northern Quebec. *Canadian Journal of Botany*, 67(9), 2770-2782.  
<https://doi.org/10.1139/b89-357>
- Observatoire des oiseaux de Tadoussac. (2022). *Observatoire d'oiseaux de Tadoussac – Relevés visuels automnaux*. <http://www.explosnature.ca/ooot/relevés-visuels/>
- Office national des forêts. (2022, octobre 26). *FEADER - Restauration de 10 ha de dunes grises par enlèvement des pins qui colonisent l'habitat prioritaire sur le site de La Teste-de-Buch*. Office national des forêts. <https://www.onf.fr/onf/+18bd::feader-restauration-de-10-ha-de-dunes-grises-par-enlevement-des-pins-qui-colonisent-lhabitat-prioritaire-sur-le-site-de-la-teste-de-buch.html>
- Oliver, T., Roy, D. B., Hill, J. K., Brereton, T., & Thomas, C. D. (2010). Heterogeneous landscapes promote population stability. *Ecology Letters*, 13(4), 473-484. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01441.x>
- Paradis, J. (2013). *Consultation publique sur la modification des limites du parc national du Fjord-du-Saguenay* (p. 34) [Rapport présenté au ministre du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs]. Président de l'audience publique.
- Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. (2011). *Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent : Plan de zonage, document d'information*.
- Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. (2022). *Connaître – Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent*. <https://parcmarin.qc.ca/connaître/#mandat>
- Parcs Québec, & Sépaq. (2016). *Bulletin de conservation 2015 2016, Les parcs nous ont dévoilé... 64*.
- Patriquin, K. J., & Barclay, R. M. R. (2003). Foraging by bats in cleared, thinned and unharvested boreal forest. *Journal of Applied Ecology*, 40(4), 646-657. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00831.x>
- Petit, R. D. (2000). *Habitat use by landbirds along nearcticneotropical migration routes : Implications for conservation of stopover habitats*. 20.

- Picard, F. (1983). Tadoussac. *Étude ethno-historique et étude du potentiel archéologique, historique et préhistorique*. Min. Aff. Culturelles, Serv. des études et expertises, 2.
- Pornaro, C., Schneider, M. K., & Macolino, S. (2013). Plant species loss due to forest succession in Alpine pastures depends on site conditions and observation scale. *Biological Conservation*, 161, 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.02.019>
- Prach, K., Ujházy, K., Knopp, V., & Fanta, J. (2021). Two centuries of forest succession, and 30 years of vegetation changes in permanent plots in an inland sand dune area, The Netherlands. *PLOS ONE*, 16(4), e0250003. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250003>
- Prairie Climate Centre. (2019). *Atlas climatique du Canada, version 2*. <https://atlasclimatique.ca/map/canada>
- Prescott, J., & Richard, P. (2014). *Mammifères du Québec et de l'Est du Canada* (3<sup>e</sup> éd.).
- Provoost, S., Jones, M. L. M., & Edmondson, S. E. (2011). Changes in landscape and vegetation of coastal dunes in northwest Europe : A review. *Journal of Coastal Conservation*, 15(1), 207-226. <https://doi.org/10.1007/s11852-009-0068-5>
- QGIS Development Team, 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. URL <http://qgis.org>
- Règlement sur les espèces floristiques menacées ou vulnérables et leurs habitats, RLRQ c E-12.01, r 3, <<https://canlii.ca/t/6dj09>> consulté le 2022-11-24
- Règlement sur les espèces fauniques menacées ou vulnérables et leurs habitats, RLRQ c E-12.01, r 2, <<https://canlii.ca/t/pbhp>> consulté le 2022-12-07
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reubens, B., Poesen, J., Danjon, F., Geudens, G., & Muys, B. (2007). The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture : A review. *Trees*, 21(4), 385-402. <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0132-4>
- Robert, M., Hackey, M.-H., Lepage, D., & Couturier, A. R. (2019). *Deuxième atlas des oiseaux nicheurs du Québec méridional* (Regroupement Québec oiseaux, Service canadien de la faune (Environnement et Changement climatique Canada et Etudes d'Oiseaux Canada).
- Rodewald, P. G., & Brittingham, M. C. (2004). Stopover Habitats of Landbirds During Fall : Use of Edge-Dominated and Early-Successional Forests. *The Auk*, 121(4), 1040-1055. <https://doi.org/10.1093/auk/121.4.1040>
- Russo, D., Cistrone, L., & Jones, G. (2007). Emergence time in forest bats : The influence of canopy closure. *Acta Oecologica*, 31(1), 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2006.11.001>
- Schmaljohann, H., Eikenaar, C., & Sapir, N. (2022). Understanding the ecological and evolutionary function of stopover in migrating birds. *Biological Reviews*, 97(4), 1231-1252. <https://doi.org/10.1111/brv.12839>

- Schnitzler, H.-U., & Kalko, E. K. V. (2001). Echolocation by Insect-Eating Bats : We define four distinct functional groups of bats and find differences in signal structure that correlate with the typical echolocation tasks faced by each group. *BioScience*, *51*(7), 557-569. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0557:EBIEB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0557:EBIEB]2.0.CO;2)
- Seibold, S., Bässler, C., Brandl, R., Gossner, M. M., Thorn, S., Ulyshen, M. D., & Müller, J. (2015). Experimental studies of dead-wood biodiversity—A review identifying global gaps in knowledge. *Biological Conservation*, *191*, 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.006>
- Smith, K. W. (2007). The utilization of dead wood resources by woodpeckers in Britain. *Ibis*, *149*(s2), 183-192. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2007.00738.x>
- Swanson, M. E., Franklin, J. F., Beschta, R. L., Crisafulli, C. M., DellaSala, D. A., Hutto, R. L., Lindenmayer, D. B., & Swanson, F. J. (2011). The forgotten stage of forest succession : Early-successional ecosystems on forest sites. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *9*(2), 117-125. <https://doi.org/10.1890/090157>
- Thomas, J. P., Reid, M. L., Jung, T. S., & Barclay, R. M. R. (2019). Site occupancy of little brown bats (*Myotis lucifugus*) in response to salvage logging in the boreal forest. *Forest Ecology and Management*, *451*, 117501. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117501>
- Tosi, M. (2007). Root tensile strength relationships and their slope stability implications of three shrub species in the Northern Apennines (Italy). *Geomorphology*, *87*(4), 268-283. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.019>
- Veer, M. A. C., & Kooijman, A. M. (1997). Effects of grass-encroachment on vegetation and soil in Dutch dry dune grasslands. *Plant and Soil*, *192*(1), 119-128. <https://doi.org/10.1023/A:1004280300820>
- Vézina, M. A. (2001). *LES HAIES BRISE-VENT*. Institut de technologie agricole de La Pocatière.
- Vilà, M., Espinar, J. L., Hejda, M., Hulme, P. E., Jarošík, V., Maron, J. L., Pergl, J., Schaffner, U., Sun, Y., & Pyšek, P. (2011). Ecological impacts of invasive alien plants : A meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters*, *14*(7), 702-708. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01628.x>
- Villard, M.-A., Grenier, G., & Lavoie, N. (n.d.). *État des connaissances : Projet de parc national des Dunes-de-Tadoussac* (non publié). Sépaq.
- Vincent, L. A., Zhang, X., Brown, R. D., Feng, Y., Mekis, E., Milewska, E. J., Wan, H., & Wang, X. L. (2015). Observed Trends in Canada's Climate and Influence of Low-Frequency Variability Modes. *Journal of Climate*, *28*(11), 4545-4560. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00697.1>
- Vollmer, A. T., Maza, B. G., Medica, P. A., Turner, F. B., & Bamberg, S. A. (1977). The impact of off-road vehicles on a desert ecosystem. *Environmental Management*, *1*(2), 115-129. <https://doi.org/10.1007/BF01866102>
- Walker, L. R., & del Moral, R. (2003). *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation* (1<sup>re</sup> éd.). Cambridge University. <https://www.cambridge.org/core/books/primary-succession-and-ecosystem-rehabilitation/9BC68435AABD90F185CC293761170AF6>

- Webb, R. H., & Wilshire, H. G. (2012). *Environmental Effects of Off-Road Vehicles : Impacts and Management in Arid Regions*. Springer Science & Business Media.
- Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, François R, Grolemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E, Bache SM, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H (2019). "Welcome to the tidyverse." *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686 <<https://doi.org/10.21105/joss.01686>>.
- Wilson, M. (2003). *Distribution, Abundance, And Home Range Of The Whip-Poor-Will (Caprimulgus Vociferus) In A Managed Forest Landscape*. <https://doi.org/10.21220/S2-TGSM-MV52>
- Wilson, M. D., & Watts, B. D. (2008). Landscape configuration effects on distribution and abundance of Whip-poor-wills. *The Wilson Journal of Ornithology*, 120(4), 778-783. <https://doi.org/10.1676/06-108.1>
- Wolfe, S. A., & Nickling, W. G. (1993). The protective role of sparse vegetation in wind erosion. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 17(1), 50-68. <https://doi.org/10.1177/030913339301700104>

**ANNEXE 1**  
**RÉSULTAT DU CALCUL DE L'AIRE OUVERTE ENSABLÉE DES TERRASSES MARINES DE**  
**TADOUSSAC DEPUIS 1964 À 2021**

<b>Années</b>	<b>Aires ouvertes ensablées</b>
1964	0,87
1972	0,83
1981	0,73
1994	0,63
2002	0,57
2012	0,49
2021	0,45

**ANNEXE 2**  
**TRACES DE CIRCULATION DES VTT AUX DUNE DE TADOUSSAC EN 2007,2015 ET 2021**

2007 (Nancy Lavoie)



2015 (Nancy Lavoie)



2021 (google satellite)



