

Méthodes de contrôle de la végétation proposées pour le site des dunes de Tadoussac

Document synthèse 2023



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par Alice Dubois, étudiante à la maîtrise en gestion systémique des milieux naturels à l'université de Sherbrooke, stagiaire à la Direction des parcs nationaux du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Le rapport est celui de la rédactrice et n'engage pas le ministère à faire des actions.

Table des matières

Liste des figures	1
Liste des tableaux	1
Introduction	2
1. Méthodes et moyens d'intervention pour le contrôle de la végétation	4
1.1 Entretien manuel	5
1.1.1 Désherbage manuel	5
1.1.2 Arrachage manuel	7
1.1.3 Coupe manuelle	8
1.1.4 Avantages	9
1.1.5 Inconvénients et impacts sur l'environnement	9
2. Entretien motorisé	10
2.1 Débroussaillage	10
2.2 Élagage, étêtage et abattage	11
2.3 Avantages	12
2.4 Inconvénients et impacts sur l'environnement	12
3. Annélation	14
3.1 Description	14
3.2 Avantages	14
3.3 Inconvénients et impacts sur l'environnement	14
4. Paillage	16
4.1 Description	16
4.2 Avantages	17
4.3 Inconvénients et impacts sur l'environnement	17
5. Activités de récréation extensives	18
5.1 Description	18

5.2Avantages _____	20
5.3Inconvénients et impacts sur l’environnement_____	20
6.Autres méthodes utilisées dans le monde _____	21
6.1Solarisation _____	21
6.2Désherbage thermique à la vapeur _____	21
2. Choix des méthodes _____	23
1.Critères de sélection_____	23
2.Fréquence _____	23
Conclusion_____	25
Références bibliographiques _____	26
Annexe 1.Tableau synthèse des méthodes et moyens d’intervention de contrôle de la végétation proposés pour les terrasses marines de Tadoussac. ____	1

Liste des figures

Figure 1 Exemple de type de végétation (cercles rouges) et zone des dunes pouvant être contrôlé par la méthode de désherbage manuel et arrachage manuel. _____	6
Figure 2 Outils pour le désherbage manuel : sarcleuse (gauche), binette sarcleuse (milieu), binette (droite). _____	6
Figure 3 Outils pour l'arrachage manuel : bêche (gauche), fourche à bêcher (droite). _____	7
Figure 4 Plateforme d'observation située sur le haut du talus est de la dune inférieure se faisant coloniser par la végétation. _____	8
Figure 5 Jeunes pins (Pinus sp) sur la terrasse supérieure à gauche (2019) et sur la terrasse inférieure à droite (2013). _____	11
Figure 6 Exemples d'annélation. _____	15
Figure 7 Traces de pneus sur la terrasse inférieure ouest (2021). _____	19
Figure 8 Deux sentiers non officiels et des traces du piétinement sur le talus de la terrasse inférieure est (2021). _____	19
Figure 9 Appareils de désherbage à la vapeur d'eau. _____	22

Liste des tableaux

Tableau 1 Types de paillis disponibles pour la lutte contre la végétation. _____	17
--	----

Introduction

Autrefois déboisé, le site des dunes de Tadoussac était des terres exploitées pour l'agriculture et la foresterie. Aujourd'hui, la forêt gagne peu à peu du terrain et la végétation recolonise les zones ensablées (Lavoie & Gilbert, 2015; Villard et al., n.d. ; Dubois,2022). En 58 ans, on observe une diminution d'environ la moitié de la surface de l'aire ouverte ensablée passant de 87 hectares en 1964 à 45 hectares en 2021 (Dubois, 2022). La pertinence d'intervenir sur le site pour contrôler la végétation et maintenir partiellement l'aspect paysager ouvert des dunes dans certaines zones a été documentée et conseillée pour diverses raisons sociales et écologiques (Dubois, 2022). Le site des dunes de Tadoussac est visé par un projet de création de parc national par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP). Dans ce contexte, le contrôle de la végétation aux dunes de Tadoussac doit respecter les lois et les politiques qui encadrent les parcs nationaux. La loi sur les parcs définit les parcs comme des aires protégées qui « assurent la conservation permanente de territoires représentatifs des régions naturelles ou des sites naturels à caractère exceptionnel ». La Politique sur les parcs nationaux du Québec contient une orientation sur la gestion adaptative, permettant des interventions sur les territoires, notamment pour « maintenir l'accès à un paysage culturel remarquable » (MFFP, 2018). Le cadre juridique entourant les parcs nationaux du Québec est aussi favorable à la gestion de la végétation même si celle-ci vient entraver les processus naturels. L'abattage, l'endommagement ou l'enlèvement d'arbre, d'arbuste ou de plante est autorisé à des fins scientifiques ou de gestion en vertu de l'article 20 du Règlement sur les parcs. Des méthodes de contrôle de la végétation sont donc possibles dans le cadre de la gestion du site.

Contrôler les processus naturels de végétalisation aurait pour but de maintenir l'aspect dunaire et le panorama exceptionnel de ce paysage humanisé unique. En effet, le site est fréquenté par les citoyens de Tadoussac qui ont un grand attachement à ce paysage (Dubois, 2023; Paradis, 2013). La préservation et l'entretien de paysage sont réalisés dans certains parcs nationaux. Par exemple au parc national du Bic et au parc national de Plaisance, dans certaines sections des parcs, des paysages humanisés agricoles sont entretenus afin de maintenir et mettre en valeur le patrimoine paysager culturel des lieux (JF. Houle, parc national de Plaisance et M. Sabourin, parc national du Bic, communication personnelle, 31 mars et 14 avril 2023). Contrôler la végétation aux dunes de Tadoussac permettrait aussi de protéger et conserver la biodiversité des milieux ouverts et de maintenir l'hétérogénéité du paysage de la Haute-Côte-Nord qui est un territoire exclusivement forestier (Dubois, 2022). Le site des dunes de Tadoussac est un corridor d'oiseaux migrateurs d'importance continentale. Le contrôle contribuerait à maintenir ce site comme un haut lieu pour l'observation de la migration des oiseaux à l'automne et au printemps (Bélisle et al., 2001; Ibarzabal et al., 2009; Limoges, 2002; Villard, 2021). Par la même occasion, cela permettrait de maintenir la pérennité des activités scientifiques de l'Observatoire d'Oiseaux de Tadoussac (OOT), c'est-à-dire le suivi de la migration et le suivi des populations aviaires par l'acquisition de données (Ibarzabal, 1999; Ibarzabal et al., 2009; OOT, 2023).

Ce document a pour but de proposer des méthodes et des techniques de contrôle de la végétation adaptées aux contextes des dunes de Tadoussac et ayant le moins d'impact possible sur le milieu naturel. Une recherche de documentation a été effectuée pour identifier et sélectionner les méthodes de contrôle et de gestion de la végétation pertinentes. Les méthodes identifiées dans ce document proviennent de différents domaines, notamment de l'agroenvironnement ; de la lutte contre les espèces exotiques envahissantes (EEE) ; de pratiques déjà établies dans le réseau des parcs nationaux ; de guides d'organisme de conservation ; de compagnies ayant besoin de gérer la végétation (train, ligne électrique) et d'activités récréatives. Les mots clés utilisés pour cette recherche ont été « Maitrise », « Méthodes de contrôle »,

« Végétation », « Environmental management », « Stratégie », « Control ». Plusieurs gestionnaires responsables de la conservation à la Société des établissements de plein air du Québec (sépaq) dans différents parcs nationaux ont été rencontrés lors d'entrevue Teams afin d'identifier des méthodes de contrôle de la végétation déjà utilisées dans le réseau des parcs nationaux. Ces parcs sont les suivants : le parc national de Plaisance, le parc national du Bic et le parc national des Îles-de-Boucherville et le parc national du mont Saint-Bruno.

Ce document comprend d'abord un exposé des différentes méthodes de contrôle, leurs avantages, leurs inconvénients et leurs impacts potentiels sur l'environnement. Le document se conclut par une réflexion sur le choix des méthodes à privilégier selon plusieurs critères et la fréquence à laquelle les utiliser.

1. Méthodes et moyens d'intervention pour le contrôle de la végétation

Ce document propose un choix de 5 types d'intervention possibles pour le site des dunes de Tadoussac, parmi les méthodes et les moyens existants. Le choix des méthodes s'est appuyé sur plusieurs critères. Celles-ci doivent avoir un faible impact sur l'environnement et être adaptées au contexte du site des dunes, soit le climat, l'érosion présente sur le site, le contexte d'une future aire protégée et le cadre légal. Toutes les méthodes sélectionnées font partie des méthodes dites mécaniques qu'on définit par l'enlèvement physique d'une partie ou de la totalité de la plante et l'installation de barrières physiques qui empêchent la végétation de croître (Agriculture et agroalimentaire Canada, s. d.). Les méthodes chimiques (pesticides) ne sont pas envisagées pour le site des dunes de Tadoussac puisqu'elles ont trop d'impact négatif sur le milieu naturel. Les méthodes mécaniques nécessitent l'utilisation d'outils ou d'appareils spécifiques. Certaines techniques entraînent la mort des végétaux, tandis que d'autres, non létales, limitent la croissance et le développement des végétaux ciblés.

Des axes d'interventions ciblent les actions à réaliser pour maintenir le milieu des dunes ouvert et permettent de faire une sélection des méthodes appropriées à l'usage. Les axes d'interventions sont les suivants :

- **Éliminer les nouvelles pousses (toutes espèces confondues) et les semis (arbres, arbustes) dans des zones identifiées pour le maintien du paysage dunaire humanisé afin d'empêcher l'avancement de la forêt par la recolonisation des dunes.**
- **Éliminer les herbacées, arbrisseaux et sous-arbrisseaux à la lisière de la forêt, sur le contour et à l'intérieur des aires ensablées pour maintenir l'aspect du paysage dunaire humanisé.**
- **Éclaircir les branches des arbres et arbustes qui poussent en hauteur et qui pourraient obstruer les observatoires et la bonne visibilité du ciel afin de maintenir le champ de vision sur le fleuve Saint-Laurent dans les zones identifiées.**

Cette section présente et décrit les différentes techniques d'entretien et contrôle de la végétation possible pour le site des dunes de Tadoussac, leurs avantages, leurs inconvénients et leurs potentiels impacts sur l'environnement. La section est divisée en 6 parties, chacune présentant une ou des méthodes : 1) Entretien manuel, 2) Entretien motorisé, 3) Paillage, 4) Annélation 5) Activités de récréation extensives et 6) Autres méthodes utilisées dans le monde.

1. Entretien manuel

L'entretien manuel désigne toutes les méthodes d'entretien qui n'utilisent pas d'outils à moteurs. Le travail se fait manuellement à la force des bras avec des outils simples comme une pelle, une pioche, etc. Il s'agit des plus vieilles méthodes pour lutter contre les mauvaises herbes en agriculture (UICN France, 2016).

1.1 Désherbage manuel

Le désherbage manuel est sûrement la plus vieille méthode de lutte contre les mauvaises herbes dans beaucoup des domaines de la maîtrise de la végétation soit, en agriculture, en horticulture, en lutte contre les espèces exotiques envahissantes (EEE), en entretien d'infrastructures humaines comme les emprises de ligne électrique (FAO, 1994; Hydro-Québec, s. d.; McCully & Jensen, 2004; UICN France, 2016). Il s'agit de retirer ou couper à la surface du sol, les jeunes pousses de l'année d'herbacées et semis d'arbres et d'arbuste qui n'ont pas un système racinaire encore très développé. Au Québec, un semis se définit par une hauteur inférieure de 1,50 m et un diamètre à hauteur de poitrine inférieur à 1 cm (Gouvernement du Québec, 2023). Cette technique est très efficace contre les plantes aussi bien annuelles que les jeunes vivaces (McCully & Jensen, 2004; Ressources naturelles Canada, 2018). Le but est d'arrêter et limiter la recolonisation en éliminant toutes les nouvelles pousses de la nouvelle année. Elle agit comme une méthode de prévention pour traiter la revégétalisation dès son apparition. Étant encore au début de leur stade de développement, les jeunes pousses sont encore petites et fragiles (FAO, 1994). Il n'est donc pas compliqué de les éliminer et d'enlever la totalité des plants. Cette méthode est aussi une approche préventive afin d'éviter des méthodes de luttes et de contrôle plus intrusive et plus coûteuse sur des plantes matures, plus robustes et ayant des racines plus développées (FAO, 1994; McCully & Jensen, 2004). En effet, une fois mature, les vivaces sont plus difficiles à détruire (McCully & Jensen, 2004). Cette méthode peut être utilisée dans l'ensemble des aires désignées que ce soit dans les zones ensablées ou à la lisière des forêts et sur toutes les jeunes pousses de toutes espèces confondues (figure 1).

Elle peut être effectuée à la main, mais elle est plus efficace avec des outils comme le sarcloir ou la binette, facilement trouvable dans les magasins de jardinage et d'équipement (figure 2). Utilisée en horticulture et en agriculture, la lame affûtée de ces outils vient racler le sol et coupe les parties aériennes juste sous la surface du sol (FAO, 1994). La binette vient ameublir le sol et déterrer les plus grandes des jeunes pousses en travaillant le sol plus en profondeur tandis que le sarcloir reste en surface (McCully & Jensen, 2004).

La période la plus efficace pour réaliser cette méthode est au printemps, au début de stade de développement des végétaux. Le désherbage sera plus efficace étant donné que les jeunes pousses sont encore fragiles et les semis d'arbre et d'arbuste n'ont pas encore développé de système racinaire complexe (FAO, 1994). Elle doit également être effectuée avant la montée en graine chez les herbacées pour éviter la formation et la chute des graines au sol (McCully & Jensen, 2004; Ressources naturelles Canada, 2018; UICN France, 2016). Cette opération peut être répétée plusieurs fois durant la saison de croissance si la végétation est vigoureuse (Ressources naturelles Canada, 2018).



Figure 1 Exemple de type de végétation (cercles rouges) et zone des dunes pouvant être contrôlé par la méthode de désherbage manuel et arrachage manuel. Les photos se situent sur la dune supérieure (a 2019, c 2013) et le haut du talus est de la dune inférieure (b 2023).

Source : Dubois 2023



Figure 2 Outils pour le désherbage manuel : sarcleuse (gauche), Binette sarcleuse (milieu), binette (droite).

Source : Photos prises sur des sites internet dédiés au jardinage (Gerbeaud, 2023; Jardin et saison, 2023; Outils wolf, 2023).

1.2 Arrachage manuel

Très utilisé dans la lutte contre les EEE, l'arrachage cible particulièrement les espèces qui se reproduisent de façon végétative par des structures appelées rhizomes, stolons ou tiges souterraines ou tubercules. La coupe des rhizomes ou des tiges vient stimuler la reproduction et s'en suit l'apparition de drageons (McCully & Jensen, 2004; Ressources naturelles Canada, 2018). Pour ces espèces, l'élimination complète des jeunes pousses et des plantes plus âgées est donc efficace que si ces structures sont elles aussi arrachées en entier (Ressources naturelles Canada, 2018; UICN France, 2016). Le secteur peut être également déterré, inspecté ou passé au tamis avant d'être replacé pour s'assurer que tous les rhizomes et autres structures ont été enlevés. Cette méthode fonctionne particulièrement bien pour limiter la repousse et le stock de banques de gaine dans le sol. Elle doit être faite avec précaution et rigueur pour éliminer le maximum de rhizome et obtenir les meilleurs résultats (UICN France, 2016). L'objectif est donc d'éliminer les plantes à rhizomes qui colonisent les surfaces ensablées des dunes à l'aide de ces structures. Parmi les espèces d'herbacées rhizomateuses colonisant les dunes, on observe notamment, le peuplier baumier (*Populus balsamifera*) (figure 2b), L'Élyme des sables (*Leymus mollis*), la potentille à feuilles tridentées (*Potentilla tridentata*) (figure 2c), le Pâturin du Canada (*Poa compressa*) et l'Agropyre à crête (*Agropyron repens*) (Dignard, 1992; Villard et al., n.d.). L'arrachage est plus efficace sur des sols sablonneux, léger et meubles (FAO, 1994), des conditions rencontrées aux sites des dunes. Tout comme le désherbage manuel, elle peut être utilisée sur l'ensemble du territoire (figure 2).

L'arrachage peut être effectué à la main pour les végétaux les moins résistants ayant des racines superficielles et proches de la surface du sol. Pour l'arrachage à l'aide d'outils, ceux à privilégier sont la pioche, la bêche (pelle tranchante) ou la fourche à bêcher, facilement trouvable en magasin de jardinage et d'équipement (figure 3). Tous ces outils servent à déterrer les parties souterraines des plantes en creusant ou en agrippant les racines jusqu'à la surface (UICN France, 2016).

Il peut être nécessaire d'utiliser cette technique plusieurs fois pendant la saison estivale selon la rapidité de croissance et avant la monter des graines, tout comme le désherbage manuel (UICN, 2008). Toutefois, pour certaines espèces, l'arrachage peut être effectué lorsque les graines sont visibles. À ce moment-là, les réserves des racines sont transférées aux graines. Ainsi, la coupe des parties aériennes affaiblit la plante (Sébire, 2015).



Figure 3 Outils pour l'arrachage manuel : bêche (gauche), fourche à bêcher (droite).

Source : Photos de journal et de site internet dédié au jardinage (Autour du Potager, s.d.; Le monde, s.d).

1.3 Coupe manuelle

La coupe manuelle consiste à couper et retirer des éléments de la végétation au-dessus du sol. Cette coupe peut être totale, soit jusqu'au niveau du sol, ou partielle, soit certaines branches de petit diamètre de jeunes arbres, d'arbustes et d'arbrisseau (SIA & SIAQ, 2013b). Cette méthode serait utile dans le secteur des dunes pour diverses situations. Par exemple, en coupant seulement certaines branches de façon sélective, les points de vue sur le fleuve Saint-Laurent pourraient être maintenus grâce à cette technique, sans avoir à couper en totalité des arbustes ou abattre un arbre (figure 4). Par la même occasion, cette technique permettrait de maintenir la végétation basse dans les zones d'observation, de relevé visuel de la migration et de capture des oiseaux par l'OOT, contribuant ainsi à la pérennité des activités ornithologiques. La méthode peut également être utilisée pour s'assurer que la capture des oiseaux pour le bagage se fait de façon sécuritaire pour ceux-ci. Les filets utilisés par l'OOT, très délicats, peuvent rester coincés et s'emmêler dans la végétation si celle-ci n'est pas taillée. Des oiseaux pris à l'intérieur des filets peuvent se blesser si celui-ci s'emmêle dans le filet pris dans la végétation. De plus, la revégétalisation entraîne une modification de l'habitat et des zones de capture possible. En recherche scientifique, il est important de respecter le protocole, c'est-à-dire les emplacements des filets afin d'avoir une base de données longitudinale pouvant être analysée et utilisée dans les travaux de recherche. La conservation d'un habitat similaire entre les années est aussi un critère important pour pouvoir comparer les années entre elles sans biais lié au milieu naturel changeant. Les équipements et outils nécessaires sont des sécateurs, sécateurs télescopiques ou ébrancheurs pour ne citer qu'eux. Ils ne nécessitent pas d'électricité ou de carburant, ce qui les rend silencieux.

Toutefois, la coupe manuelle n'est pas efficace pour contrôler les plantes à rhizome. La coupe des plantes à rhizome doit être combiné à un arrachage manuel des rhizomes si celles-ci souhaite être éliminer ou à des coupes régulières et répétées si on souhaite contrôler l'expansion des plantes (Ressources naturelles Canada, 2018; UICN France, 2016).

La coupe peut être effectuée de façon unique ou ponctuelle. La période la plus propice pour couper les branches d'un arbre tout en freinant sa croissance est après le début de la poussée de croissance, au printemps (SIA & SIAQ, 2013a). En effet, à ce moment, les plantes viennent de dépenser leurs énergies dans la production de feuilles, de racine et de nouvelles pousses. Couper des branches et le feuillage vient donc causer un stress important. La coupe printanière est à utiliser sur les arbres ou arbustes matures en bonne santé. Pour un vieil arbre ou un arbre en mauvaises conditions, le stress pourrait engendrer sa mort (SIA & SIAQ, 2013a).



Figure 4 Plateforme d'observation située sur le haut du talus est de la dune inférieure se faisant coloniser par la végétation.

Source : Gagnon, 2020 et Dubois 2023

1.4 Avantages

Ces techniques manuelles ont plusieurs avantages intéressants. Elles conviennent parfaitement à des sites délicats, difficiles d'accès ou qui possèdent des caractéristiques particulières (Ressources naturelles Canada, 2018). L'entretien manuel est idéal et adapté au site des dunes, car il n'utilise pas de véhicule lourd. En effet, aux dunes, on observe une érosion hydrogéologique avec des ravinements et un glissement de terrain en haut du talus est de la terrasse inférieure (Villard et al., n.d., J.F. Therrien, communication personnelle, 14 novembre 2022). La compaction des sols par des machines pour entretenir le paysage viendrait modifier les propriétés et la morphologie du sol ce qui peut amplifier le facteur d'érosion et de glissement de terrain (Batey, 2009; Cambi et al., 2015). Cette technique très efficace sur des petites zones de traitements proches des infrastructures et des zones fréquentées par le public. Ce sont également des techniques très sélectives qui permettent de choisir et d'éliminer avec précision la végétation ciblée, que ce soient des arbres, des arbustes, des arbrisseaux ou des herbacées (Gouvernement du Canada, 2019; UICN France, 2016). N'utilisant pas de véhicules, de machines ou d'outils à moteur, aucune pollution sonore n'est émise. Par conséquent, aucun dérangement sonore ne sera observé auprès de la faune et des visiteurs. Finalement, ces méthodes dites « douces » sont les méthodes les moins intrusives ayant le moins d'impacts contrairement aux méthodes présentées dans les prochaines sections (UICN France, 2016).

1.5 Inconvénients et impacts sur l'environnement

Réalisées à la force des bras, ces techniques sont chronophages et peuvent être exigeantes en main-d'œuvre. L'arrachage des rhizomes est un travail particulièrement minutieux et vorace en temps faisable sur des petites colonies ou plants isolés (Sébire, 2015). Si les zones à traiter sont de grandes envergures, cela peut être très coûteux en temps et en main-d'œuvre. Elles ne sont donc pas idéales pour de grandes surfaces à traiter (Ressources naturelles Canada, 2018). Le travail manuel peut être physique et épuisant couplé aux conditions extérieures (Ressources naturelles Canada, 2018; UICN France, 2016). Ces méthodes peuvent également nécessiter des traitements répétés selon la région et la nature du sol. Selon certains guides, elles devraient être effectuées deux à trois fois pendant la saison de croissance des plantes (Ressources naturelles Canada, 2018). Aucune espèce exotique envahissante (EEE) n'est présente sur le site des dunes de Tadoussac (Dignard, 1992). Cependant, le risque d'introduire des EEE lors des travaux d'entretien est élevé. Des sols remué et travaillé ou remis à nu et exposé peuvent être favorables à la colonisation par des EEE (Ressources naturelles Canada, 2018; Sébire, 2015). Les écosystèmes ouverts comme celui des dunes 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).

2. Entretien motorisé

2.1 Débroussaillage

Le débroussaillage consiste à couper la végétation aérienne inférieure à 10 cm de diamètre soit, les herbacées, les arbrisseaux, les arbustes et les gaulis (jeunes arbres) au niveau du sol à moins de 10 cm de hauteur (Hydro-Québec, s. d.; Ressources naturelles Canada, 2018). Cette méthode peut être utilisée pour éliminer la végétation basse de petit diamètre dans les zones ensablées et à la lisière de la forêt (figure 5). Les jeunes arbustes et les gaulis (jeunes arbres) peuvent facilement être coupés avec cette technique afin de maintenir une zone ensablée désignée et pour empêcher la revégétalisation (figure 5). Cette méthode est utilisée au parc national du Bic et au parc national de Plaisance pour couper les herbacées et les petits arbres et arbustes en complément du fauchage pour préserver et entretenir le paysage agricole dans certaines sections du parc (JF. Houle, parc national de Plaisance et M. Sabourin, parc national du Bic, communication personnelle, 31 mars et 14 avril 2023).

L'outil nécessaire pour effectuer du débroussaillage est une scie d'éclaircissage aussi appelé débroussailleuse forestière. Avec des lames métalliques spécialisées, elle peut couper efficacement de la végétation ligneuse inférieure à 10 cm de diamètre (Hydro-Québec, s. d.). En vertu du Règlement sur la santé et la sécurité au travail (chapitre S-2.1, r. 13) et du Règlement sur la santé et la sécurité dans les travaux d'aménagement forestier (chapitre S-2.1, r. 12.1), l'utilisation de cet appareil requière l'utilisation d'équipements de sécurité de protection individuelle et le respect de techniques de travail associées à la coupe (CNESST, 2020; SPBCQ, s. d.). Dans la liste du matériel de sécurité, on trouve notamment un harnais pour limiter les vibrations, des bottes de protection, un casque de sécurité, des lunettes de protection oculaire, protecteurs auditifs, des gants et des vêtements de protection. La liste du matériel exhaustif, les techniques d'affûtage et de coupe sont disponibles dans le guide du débroussaillage de la CNESST (2020).

Pour les mêmes raisons que l'entretien manuel, la coupe motorisée est efficace quand celle-ci est effectuée au printemps ou au début de l'été avant la floraison. En effet, les espèces n'ont pas eu le temps de se reproduire, de monter en graine, de se propager ou d'accumuler des banques de graines dans le sol (Ressources naturelles Canada, 2018). La végétation est aussi moins dense, car elle n'a pas encore eu sa poussée de croissance annuelle. De plus, utiliser cette méthode à la fin du printemps ou au début de l'été permettrait d'éviter de déranger les oiseaux durant leur migration printanière et automnale, le site des dunes étant dans une zone ZICO et un corridor migratoire (Gouvernement Canada, 2018; Limoges, 2002). La fréquence des interventions peut varier selon la période de croissance et du dynamisme des végétaux (Hydro-Québec, s. d.). À Tadoussac, on peut s'attendre à utiliser cette méthode seulement une ou deux fois dans la saison estivale (lire la section 4.2).



Figure 5 Jeunes pins (*Pinus* sp) sur la terrasse supérieure à gauche (2019) et sur la terrasse inférieure à droite (2013).

Source : Dubois 2023

2.2 Élagage, étêtage et abattage

L'élagage est une technique traditionnelle et très répandue pour l'entretien des arbres et arbustes dans tous domaines confondus (SIA & SIAQ, 2013a). Il permet de couper certaines branches mortes ou vivantes d'un arbre qui ne sont pas compatibles avec les objectifs de gestion. L'étêtage consiste, lui, à réduire la hauteur de l'arbre en coupant sa cime (ISA & SIAQ, 2013). Ils existent des techniques spécifiques et des bonnes pratiques à adopter pour élaguer et étêter un arbre en préservant sa santé, la sécurité et l'esthétique des arbres. Ces méthodes sont présentées dans les guides et brochures de l'International Society of Arboriculture (ISA & SIAQ, 2013; SIA & SIAQ, 2013a, 2013b). L'abattage est la coupe de toute la partie aérienne d'un arbre ou d'un arbuste dont le diamètre est supérieur à 10 cm. L'arbre n'est pas dessouché, car le système racinaire assure la stabilité du sol (Gray & Sotir, 1996; Reubens et al., 2007). L'abattage est déjà pratiqué dans les parcs nationaux du Québec afin de couper les arbres malades ou dangereux à proximité des infrastructures et des sites de camping (JF. Houle, parc national de Plaisance, communication personnelle, 31 mars 2023). Pour le site des dunes, l'élagage ou l'étêtage réalisé avec de bonne pratique pourrait être utilisé pour orienter ou limiter le développement et la croissance de la végétation afin de contrôler la vue depuis les différents observatoires et sur les sites de captures de l'OOT (figure 4). Actuellement, sur la terrasse inférieure, un léger élagage des branches des arbres est déjà effectué à proximité des filets de l'OOT qui servent à la capture des oiseaux migrateurs (JF. Therrien, communication personnelle, 11 novembre 2022). Cet élagage permet d'assurer le fonctionnement des dispositifs.

Tout comme le débroussaillage (section 2.1), ces techniques doivent être obligatoirement exécutées avec l'équipement de sécurité de protection individuelle (CNESST, 2020). Les outils utilisés sont la scie à chaîne, appelée aussi tronçonneuse ou scie mécanique et la perche-élagueuse. Seulement un arboriculteur ou un employé ayant une formation de scie à chaîne peut effectuer ces opérations (JF. Houle, parc national de Plaisance et N. Rivard, parc national des îles-de-Boucherville et du mont Saint-Bruno, communication personnelle, 31 mars et 5 avril 2023).

Cette opération peut être faite de façon ponctuelle. Habituellement, il est recommandé d'élaguer pendant la période de repos végétatif en évitant les périodes de gel et de pluie. Le début du printemps ou la fin de l'automne sont donc des périodes à privilégier (Delage, 2002; SIA & SIAQ, 2013a). Toutefois, pour

l'élagage et l'étêtage, si la coupe est réalisée juste après le début de la première croissance printanière, alors la croissance pour le reste de la saison peut être freinée. En effet, les arbres ont dépensé leur énergie pour produire les feuilles du printemps et les racines (Biring et al., 1996).

2.3 Avantages

Les avantages de l'entretien motorisé sont principalement la rapidité et l'efficacité sur de grandes zones à traiter (Ressources naturelles Canada, 2018). De plus, comme pour l'entretien manuel (section 1.4), les techniques sélectionnées n'utilisent aucun véhicule qui pourrait compacter le sol et augmenter le phénomène d'érosion, tout en permettant de contrôler la hauteur des arbres et arbustes afin de dégager les vues autour des observatoires.

2.4 Inconvénients et impacts sur l'environnement

Tout comme l'entretien manuel (section 1.5), l'entretien motorisé est sujet à l'introduction d'EEE. Ce risque est d'autant plus élevé avec cette technique, car les outils et appareils utilisés pour la coupe peuvent présenter des fragments d'EEE ou d'espèces non désirées qui pourraient être introduits si les outils ne sont pas nettoyés (McCully & Jensen, 2004).

La coupe motorisée nécessite l'usage d'appareil à moteur. Les appareils alimentés par du carburant combustible (huiles, essence, etc.) sont plus efficaces et plus puissants, mais ont l'inconvénient de rejeter des gaz à effets de serre en plus d'être dépendant des énergies fossiles non renouvelables. Des risques de fuite d'hydrocarbure dans l'environnement sont aussi associés à l'utilisation de ce type de matériel. (Hydro-Québec, s. d.) L'utilisation d'appareils motorisée implique aussi des risques pour les utilisateurs. Les travailleurs sont exposés aux rejets de gaz d'échappement, aux vapeurs d'essence, aux maladies et syndromes liés à la vibration des appareils dans les mains et les bras, mais aussi à la surdité et aux effets sur la santé liée au bruit plus élevé (entre 95 et 110 décibels) que les normes du travail québécois (90 décibels). (Gouvernement du Canada, 2023; Hydro-Québec, s. d.)

Des coûts sont associés à la coupe motorisée. En effet, elle demande des employés ayant suivi des formations, du matériel de sécurités et des outils dispendieux. Dans certains cas, comme au parc national de Plaisance, quand les employés n'ont pas la formation pour manipuler ses outils, des prestataires spécialisés en élagage sont nécessaires pour certaines opérations sur de grands arbres. Cela peut entraîner des frais de 400 \$ à 500 \$ par arbre abattu (J.F. Houle, parc national de Plaisance, communication personnelle, 31 mars 2023).

En plus du bruit induit aux employés, ces opérations d'entretien engendreraient de la pollution sonore source de dérangement pour la faune, les visiteurs et pour les scientifiques de l'OOT. Les effets de la pollution sonore sur la faune sont largement documentés (Francis & Barber, 2013). Ils entraînent des coûts pour les animaux, notamment un stress physiologique, l'abandon ou l'évitement d'habitats ou des changements comportementaux. Ils peuvent aussi compromettre la détection de prédateurs et de proie ou des signaux d'accouplement durant la période de reproduction (Blumstein, 2010; Francis & Barber, 2013; Shonfield & Bayne, 2017). Cela peut aussi être problématique pour l'identification sonore des oiseaux effectuée par l'OOT durant la saison de migration et pourrait compromettre la prise de donnée sur les populations aviaires affectées par le bruit. Finalement, un autre risque associé aux méthodes motorisées durant les opérations de débroussaillage ou d'abattage est la destruction d'abris, de terrier, de nids de petit mammifère ou de faune aviaire, mais aussi d'individus, de juvéniles non volants ou d'œufs chez la faune aviaire nicheuse (Parc Canada, 2016). En effet, les nids et les individus, notamment les œufs, les juvéniles et les micromammifères peuvent être de très petite taille et non perceptible au premier coup d'œil dans des broussailles (Parc Canada, 2016).

Ne tuant pas la végétation, la coupe des parties aériennes n'est qu'une solution à court terme (Biring et al., 1996). Lors de la saison de croissance suivante, la végétation repoussera et cela devra nécessiter à nouveau une opération de débroussaillage (Biring et al., 1996). À la suite d'une coupe motorisée, la dynamique de la végétation augmente contrairement aux méthodes utilisant des pesticides qui empêche la repousse et fait diminuer le dynamisme des arbres et arbustes (Hydro-Québec, s. d.). La coupe motorisée a tendance à stimuler la reproduction végétative chez les feuillus et donc la croissance et l'augmentation de la densité des espèces de feuillus (Hydro-Québec, s. d.). Par exemple, l'aulne de Sikta (*Alnus viridis ssp. sinuata*), présent dans l'Ouest canadien en Colombie britannique, peut revenir à sa hauteur d'avant coupe en seulement une saison de croissance (Biring et al., 1996). Malgré la repousse, la coupe annuelle peut réduire la couverture végétale d'herbacée vivace de 50 % en comparaison à un site non coupé (Biring et al., 1996). Dans les domaines bioclimatiques tempérés nordiques, on observe des rejets de souches sur plusieurs espèces de feuillus (érable rouge, à sucre, bouleau blanc, chêne, frêne) et l'augmentation de drageons de peupliers (Hydro-Québec, s. d.). L'abattage, comme pour le débroussaillage (section 2.1), favorise le développement de rejets de souche et de drageons de certaines espèces. Un suivi post-abattage doit être mis en place pour contrôler le drageonnement (UICN France, 2016). Plusieurs opérations de débroussaillage pourraient être nécessaires dans la même saison de croissance, selon plusieurs guides. Toutefois, selon la vigueur des plantes et le climat à Tadoussac, ces opérations ne devraient pas avoir besoin d'être faites aussi fréquemment (lire la section 4.2).

Finalement, l'élagage et l'étêtage peuvent créer des blessures sévères à l'arbre ou endommager l'écorce. Ces blessures peuvent le rendre vulnérable aux insectes, aux microorganismes et aux champignons engendrant des maladies et empêchant la cicatrisation. Ces attaques d'insectes et maladie mènent à la mort de l'arbre (ISA & SIAQ, 2013; SIA & SIAQ, 2013a). Afin d'éviter le pourrissement des troncs et la mort des arbres élagués ou étêter, des techniques spécifiques de coupe sont utilisées et proposées dans des guides (ISA & SIAQ, 2013; SIA & SIAQ, 2013a).

3. Annélation

3.1 Description

L'annélation, aussi appelée cerclage, est une technique alternative à l'abattage pour entraîner l'arrêt de la croissance et par la suite la mort d'un arbre ou d'un arbuste sans avoir à le couper et l'extraire du milieu naturel (Hydro-Québec, s. d.; UICN France, 2016). Dans le domaine de la gestion des milieux naturels, cette technique est utilisée dans les réserves naturelles. Elle a pour but de stopper la croissance de certains arbres pour ralentir et limiter les phénomènes de fermeture des couverts forestiers afin de protéger les prairies. Cette technique imite le processus naturel de la mort d'un arbre suite à une attaque d'insecte ou l'écorçage engendré par un animal (Conservatoire d'espaces naturels Champagne-Ardenne, 2019). L'arbre annelé permet de conserver le bois mort sur pied, appelé chicot et accueille une diversité d'insectes xylophages et saproxyliques ainsi que leurs prédateurs (Oiseaux et chauves-souris). Certaines espèces d'oiseaux, par exemple les pics, peuvent profiter de cette ressource pour nicher et se nourrir (Seibold et al., 2015; Smith, 2007).

Le principe de cette technique est d'ôter l'écorce, incluant le cambium, jusqu'à l'aubier sur 10 cm à 20 cm et à hauteur d'homme (1,30 m) pour empêcher la sève élaborée de circuler des racines jusqu'aux feuilles (figure 6) (Biring et al., 1996). Étant privé de la sève, l'arbre dépérit plus ou moins lentement et finit par mourir 2 mois à 3 ans suivant l'annélation selon l'espèce, les régions du Canada et les conditions météorologiques (Basham et al., 1976; Biring et al., 1996). Il est possible d'anneler des arbres et arbustes de 10 cm de diamètre ou plus (Hydro-Québec, s. d.; UICN France, 2016). Pour éviter le drageonnement de l'arbre, il est préférable de ne pas cercler en totalité la première année (80 à 90 % de l'arbre cerclé) et de laisser une petite partie de l'écorce intacte permettant à la sève de continuer à circuler en petite quantité. L'arbre va dépérir plus lentement, mais les drageons seront réduits. Une fois l'arbre affaibli, le cerclage peut être fait sur toute la circonférence (UICN France, 2016).

Les outils à privilégier sont la hache, la lame métallique, la scie ou la tronçonneuse selon le diamètre de l'arbre. Cette méthode peut donc être à la fois de l'entretien manuel ou de l'entretien motorisée selon l'appareil utilisé. Cette méthode doit être utilisée pendant la saison de croissance, de préférence avant la fructification de l'arbre selon les espèces (UICN France, 2016).

3.2 Avantages

L'annélation a l'avantage de réduire le drageonnement. Elle s'apparente à une technique plus naturelle et elle permet de créer du bois mort, soit un habitat pour la faune (Seibold et al., 2015; Smith, 2007). Cette technique semble efficace, par exemple sur le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), quelle que soit la saison; un taux de mortalité de 95 % a d'ailleurs été observé (Biring et al., 1996). Cette méthode est très sélective, car les arbres à anneler sont identifiés individuellement. Elle est aussi très efficace pour les sites où l'abattage classique est difficile d'accès ou plus compliqué effectué par la présence d'autres gros arbres (Hydro-Québec, s. d.). En utilisant des outils manuels, aucun bruit n'est généré par cette méthode contrairement à l'abattage qui nécessite des machines à moteurs.

3.3 Inconvénients et impacts sur l'environnement

Pour des raisons de sécurité, aucun cerclage ne doit être réalisé à proximité d'infrastructure ou de zone fréquentée par le public. Les arbres annelés ont des risques de chute incontrôlée (UICN France, 2016). Un suivi doit être réalisé une ou plusieurs fois par année pour arracher l'apparition de potentiel rejet de souche qui toutefois, sera moins nombreux que ceux générés par une coupe motorisée (Biring et al., 1996; UICN

France, 2016). La manipulation lors de cette technique doit être minutieuse, car une entaille trop profonde qui endommagerait l'aubier peut conduire au pourrissement rapide du tronc et à la chute rapide de l'arbre (Centre forestier de formation Lyss, 2014).



Figure 6 Exemples d'annélation.

Source : Conservatoire d'espaces naturels Champagne-Ardenne, 2019 et Zimmer, 2023

4. Paillage

4.1 Description

Le paillage aussi appelé « couvre-sol » consiste à recouvrir le sol de matière organique ou inorganique (Agriculture et agroalimentaire Canada, s. d.). Constituant un obstacle physique, cette technique est fréquemment utilisée en agriculture pour empêcher la croissance et la germination des espèces végétales indésirées (Gouvernement du Canada, 2019; Ressources naturelles Canada, 2018; Westerveld, 2013). Il peut être appliqué lorsque le sol est nu en prévention de la germination et la pousse de végétaux non désirée ou sur de jeunes pousses, des herbacées ou de la végétation préalablement taillée au ras du sol (10 cm) (figure 2c). Il peut être de nature organique soit, des copeaux de bois, de la sciure de bois, copeaux d'écorce ou aiguilles d'épinette. Pour être efficace, il faut compter entre 5 et 10 cm d'épaisseur minimum (Centre de ressources pour propriétaires fonciers, 2001; Westerveld, 2013). Le choix de la provenance du paillis organique et des traitements effectués sur celui-ci est aussi à prendre en compte, car, pour être utilisé dans un parc national, celui-ci ne doit pas avoir de résidus chimiques et être certifié exempt de graines, de plantes ou d'insectes indésirables (Gouvernement du Canada, 2019; Parc Canada, 2016). Le paillage inorganique inclut le sable, les cailloux et graviers, les géotextiles, et les toiles plastiques (Ressources naturelles Canada, 2018). Les toiles de plastiques peuvent aussi être recouvertes par du paillis organique ou du sable et des graviers pour ajouter une barrière supplémentaire (Westerveld, 2013). Le paillage à l'aide de sable et gravier pourrait être utilisé pour recouvrir les jeunes pousses dans les zones ensablées désignées pour être maintenues ouvertes (figure 2c). Le tableau 1 présente les différents paillis disponibles pour lutter contre la végétation établis par Ressources Naturelles Canada (2019).

Dans la lutte contre les espèces exotiques envahissantes, le paillage avec une toile noire imperméable entendue au sol est fréquemment utilisé. On appelle cette technique le « bâchage » (Sébire, 2015; UICN France, 2016). La végétation ou le sol sera recouvert de la toile et privé de la lumière du soleil, arrêtant la photosynthèse de la végétation préalablement fauchée. La toile doit être le plus près possibles du sol. Pour maintenir le paillage plastique au sol, des pierres ou blocs de sable sont posés sur le pourtour de la bâche (UICN France, 2016). Selon l'IUCN, pour les espèces exotiques envahissantes, 10 jours à 1 année sont nécessaires pour éliminer la végétation selon les espèces (2016). Le bâchage est une technique utilisée dans les parcs nationaux pour contrôler les EEE, notamment le roseau commun. Par exemple, au parc national de Plaisance et des Îles-de-Boucherville, les toiles peuvent rester en place pendant 2 ans (JF. Houle, parc national de Plaisance et N. Rivard, parcs nationaux des Îles-de-Boucherville et du mont Saint-Bruno, communication personnelle, 31 mars et 5 avril 2023). Le paillis en plastique est imperméable, cela prive également complètement les plantes d'eau (Westerveld, 2013). Une fois le paillis retiré, les plantes mortes peuvent être arrachées (UICN France, 2016).

Le paillage peut être fait aussi fréquemment que nécessaire, car le vent peut déplacer le paillage ou faire bouger les toiles et le paillage organique se décompose avec le temps (Westerveld, 2013). Le paillage inorganique est de ce fait, plus efficace dans le temps, car il ne se décompose pas (Ressources naturelles Canada, 2018). Cependant, ce dernier est plus coûteux à l'achat (Westerveld, 2013).

Tableau 1 Types de paillis disponibles pour la lutte contre la végétation.

Biologiques	Inorganiques et naturels	Inorganiques et synthétiques *
Copeaux de bois Sciure Morceaux d'écorce de feuillus Morceaux d'écorce de résineux Aiguilles d'épinette et de pin Foin et paille Paillis pulvérisé **	Sable Gravier Galets et petites roches	Géotextiles Tissus pour aménagement paysager Polyéthylène, toile de jute, fibres naturelles Feuilles de plastique Polypropylène

* Tissu filé-lié (haute résistance à la traction), non-tissé, tissé (tissu aiguilleté ou toile de jute naturelle); installé en utilisant des clous en forme de U, des crampons pour tissu pour aménagement paysager, des sacs de sable ou des pierres.

** Boues de déchets de papier journal recyclés et de paille de céréales (< 5 cm de profondeur).

Source : Gouvernement du Canada, 2019)

4.2 Avantages

Le sol peut être recouvert sur de grande surface, ce qui rend cette technique très efficace lorsque la zone à traiter est conséquente. Une fois la pose du paillis, aucune opération hormis une surveillance n'est à mettre en place. De plus, le paillage n'est pas sélectif et empêche toutes espèces végétales de poussée.

4.3 Inconvénients et impacts sur l'environnement

Le paillage a de nombreux inconvénients et une certaine incompatibilité avec le projet de parc des Dunes-de-Tadoussac. En effet, recouvrir le sol d'un paillage ne serait pas esthétique et pas naturel dans le paysage des dunes, hormis si celui-ci est du sable ou du petit gravier. Le paillage organique apporte de la matière organique au sol lors de sa décomposition, ce qui peut favoriser l'activité microbienne dans le sol (Westerveld, 2013) et favoriser les conditions physiques du sol en retenant l'humidité et l'eau. Cela pourrait favoriser la colonisation des végétaux ayant du mal à pousser dans le milieu actuellement sérique et pauvre en nutriments (Dignard, 1992). Le paillis organique ne doit pas être traité par des agents chimiques, car celui-ci pourrait contenir des résidus chimiques. De plus, l'utilisation de paillis organique présente un risque d'introduction d'EEE. Celui-ci doit être certifié exempt de graines, de plantes ou d'insectes indésirables (Parc Canada, 2016).

De plus, le paillage n'est pas une technique efficace à 100 %. Des végétaux peuvent réussir à germer et pousser à travers du paillis, notamment les paillis organiques qui doivent être réappliqués avec le temps. Le bâchage est le plus efficace des paillis pour limiter la croissance des végétaux bien que certaines espèces agressives, comme le roseau commun arrive à transpercer les toiles géotextiles (Westerveld, 2013, N. Rivard, parcs nationaux des Îles-de-Boucherville et du mont Saint-Bruno, communication personnelle, 5 avril 2023). De plus, une surveillance doit être mise en place pour s'assurer que la bâche ne bouge pas et ne s'envole pas, entraînant l'échec de l'opération (UICN France, 2016). En agriculture biologique, le paillis en plastique doit être rapidement éliminé après le traitement pour éviter qu'il se dégrade et détériore dans l'environnement, engendrant des déchets plastiques et des micros plastiques (Westerveld, 2013). Finalement, le paillage en plastique noir ayant pour but de désherber doit être laissé en place sur une période de temps non connu et variant selon les espèces.

5. Activités de récréation extensives

5.1 Description

Les activités de récréation extensives pratiquées dans les aires protégées font l'objet de suivi écologique et de recherche scientifique afin de documenter les effets négatifs sur la dynamique de la végétation (Cole, 1995; Marion et al., 2016; Thruston & Reader, 2001). Dans le contexte des dunes de Tadoussac, il est intéressant de percevoir ces activités comme des alliés pour empêcher la revégétalisation des dunes étant donné leurs effets sur le couvert végétal. Celles-ci pourraient être utilisées à la fois comme activités extensives de la sépaq et comme des méthodes de contrôle de la végétation passive.

Les trois activités récréatives proposées pour empêcher la revégétalisation sont la circulation à pied, le vélo tout terrain et la circulation de véhicule aménagé pour le camping dans certaines aires ensablées. Ces activités de loisir entraînent le piétinement et l'écrasement de la flore par les pieds ou par les pneus. Elles ont pour conséquence la réduction de la hauteur de la biomasse et la réduction du couvert végétal, soit le pourcentage de couverture au sol (Cole, 1995; Marion et al., 2016). Selon une étude, le pourcentage de couverture végétal diminue substantiellement ou disparaît totalement après un certain nombre de passages, variant d'une espèce à l'autre selon leur vulnérabilité au piétinement et son intensité (Cole, 1995). En effet, les végétaux ligneux comme les semis d'arbres et d'arbustes ainsi que les herbacées ayant des tiges rigides sont plus sensibles au piétinement. La cassure des tiges portant les fleurs, les bourgeons et les graines empêche la croissance et la reproduction (Pescott & Stewart, 2014), tandis que chez les graminées par exemple, les tiges flexibles et les bourgeons situés sous la surface ou au ras du sol les rendent plus résistants au piétinement (Cole, 1995; Marion et al., 2016). Toutefois, ces dommages et la défoliation entraînent une incapacité à faire de la photosynthèse, arrêtent la croissance des plantes et peuvent entraîner la mort de celle-ci (Liddle, 1997). La fréquentation de marcheurs, de vélos et de vans aménagés comme on l'observe aujourd'hui peut continuer d'empêcher le reboisement et permettre de conserver le sol minéral (sable) des dunes (Marion et al., 2016) qui est l'identité du paysage.

- Le vélo tout terrain, qui est une activité proposée dans certains parcs nationaux, possède les mêmes avantages de contrôle de la végétation que les véhicules hors route (VHR) actuellement présents aux dunes de Tadoussac, sans la pollution sonore et atmosphérique associée. En effet, une hypothèse émise selon laquelle la circulation des VHR aux dunes de Tadoussac favoriserait le maintien des zones ouvertes (Delage, 2002; Lavoie & Gilbert, 2015; Villard, 2021). Ces véhicules écrasent et défolient la végétation sur laquelle ils roulent, empêchant celle-ci de s'établir (Delage, 2002; Lavoie & Gilbert, 2015; Villard, 2021). Les nombreuses traces de roues dans les espaces ouverts des dunes peuvent en témoigner (figure 7). La pratique du VHR est interdite dans les parcs nationaux du Québec en vertu de l'article 21 du Règlement sur les parcs. Le vélo tout terrain peut donc être une bonne alternative. De plus, le vélo tout terrain électrique est une activité qui se développe aux dunes et qui pourrait être exploitée dans l'offre d'activité.
- Le concept d'aménagement élaboré pour le projet de parc national propose une zone van-life dans la zone ouverte de la terrasse inférieure ouest où il serait permis de circuler avec son véhicule pour camper. Cette circulation de véhicule, déjà pratiquée actuellement, et le piétinement des visiteurs permettrait de contrôler partiellement la végétation de cette zone.
- La circulation à pied est elle aussi déjà pratiquée au site des dunes de Tadoussac et participe à maintenir les zones dunaires ouvertes et ensablées. On observe à la figure 8 les traces de piétinement des visiteurs sur le talus de la dune inférieure. Il est coutume pour les citoyens de Tadoussac et les visiteurs de descendre (parfois en courant) la pente du talus. Cette activité

semble à la fois importante pour la population et permet d'empêcher la recolonisation des végétaux sur le talus. En 2021, deux sentiers officiels sont visibles dans le talus, facilitant la montée pour les visiteurs en plus des nombreuses traces de piétinement dans le talus (figure 8).



Figure 7 Traces de pneus sur la terrasse inférieure ouest (2021).

Source : Photo de Mathieu Dupuis



Figure 8 Deux sentiers non officiels et des traces du piétinement sur le talus de la terrasse inférieure est (2021).

Source : Photo de Mathieu Dupuis

5.2 Avantages

Cette méthode est passive. En effet, elles ne nécessiteraient aucune intervention de la part des employés de terrain, étant donné que le contrôle se fait par la pratique des activités de loisirs des visiteurs. Elle a l'avantage de permettre à la population de continuer les activités récréatives qu'elles pratiquent déjà aux dunes. La marche, le vélo et notamment la descente de la dune inférieure font partie de l'expérience du site que les visiteurs et la population viennent chercher en venant sur ce lieu. La population participe donc activement à maintenir le paysage de sable de façon inconsciente. De plus, elle contribue rendre la population plus active et donc à les maintenir en santé par la pratique d'activité physique. Cette méthode peut être perçue comme la plus douce et la moins intrusive par la population étant donné qu'elle est indirecte et qu'aucun outil ou personnel n'est nécessaire.

5.3 Inconvénients et impacts sur l'environnement

Il ne faut pas négliger les autres impacts non souhaités sur le milieu que provoquent ces activités. Elles contribueront à compacter du sol et maintenir le ruissellement accru qui provoque les ravinelements du haut du talus de la dune inférieure (Marion et al., 2016). En effet, un nombre élevé de passages sur une courte période de temps peut rapidement engendrer la compaction des sols minéraux (Hylgaard & Liddle, 1981; Marion et al., 2016). Le sol des dunes de type sablonneux fait partie des sols meubles instables. Il est donc sujet à l'érosion et au glissement de terrain. Une hausse de la fréquentation et des pluies torrentielles pourraient amplifier les ravinelements si aucune action pour drainer les eaux de pluie n'est effectuée. Les dommages engendrés par la combinaison de ses effets sont proportionnels à 3 facteurs, soit la fréquentation (le nombre de passages), la capacité portante du sol et la structure du sol (Rando Québec, 2020). La capacité portante se définit par la capacité d'un sol à recevoir une pression causée par les marcheurs et les véhicules (Rando Québec, 2020). Pour la descente du talus de la dune inférieure, la fréquence et le nombre de passages sont des facteurs importants à prendre en compte et à étudier pour ne pas provoquer une augmentation de l'érosion ou le déclenchement de glissement de terrain.

6. Autres méthodes utilisées dans le monde

Cette section présente d'autres méthodes utilisées dans d'autres régions du Québec ou ailleurs dans le monde et qui ne sont potentiellement pas applicables pour le territoire des dunes de Tadoussac ou qui demande des technologies qui ne sont pas disponibles au Québec. Toutefois, ces méthodes pourraient être envisagées dans le futur dans le contexte des changements climatiques, de l'évolution des milieux naturels et de la disponibilité des outils nécessaires. Pour cette raison, elles sont décrites dans cette section.

6.1 Solarisation

Cette méthode est très utilisée en agriculture biologique en tant qu'alternative aux pesticides et autres produits chimiques (Stapleton, 2000; Yudono et al., 2020). Le but de la solarisation est de tuer toute la végétation basse se trouvant au niveau du sol incluant les racines et les graines en chauffant le sol à des températures d'environ 40 à 50°C durant le jour (Stapleton, 2000; Yudono et al., 2020). Ces températures sont létales pour la végétation et entraînent un désherbage et une désinfection du sol grâce au solaire passif (Ressources naturelles Canada, 2018). Pour ce faire, la solarisation nécessite une toile en plastique étendue au sol. Celle-ci doit être transparente pour permettre aux infrarouges de pénétrer sous la toile et crée un effet de serre (Stapleton, 2000; Yudono et al., 2020). Les températures les plus chaudes sont atteintes à la surface du sol et diminuent avec l'augmentation de la profondeur. À 50°C, le sol est aussi chauffé de façon significative jusqu'à 10 cm de profondeur, permettant de sécher les racines et tuer les micro-organismes (Yudono et al., 2020). De nombreux facteurs affectent l'atteinte de températures élevées à la surface du sol et donc la réussite de cette méthode. Le niveau d'énergie solaire, les températures extérieures, les précipitations, le couvert nuageux, le vent, mais aussi les propriétés du sol et son humidité (Stapleton, 2000). C'est pourquoi la solarisation doit être utilisée pendant la saison estivale, au moment où les températures sont les plus élevées (Stapleton, 2000). En Californie, les températures de l'air extérieur entre 20 et 35°C permettent de chauffer le sol et les 10 premiers centimètres de 37 à 50°C (Stapleton, 2000). Cette méthode est très utilisée dans les pays avec des climats méditerranéens, désertique, tropical et caractérisé par des températures estivales élevées et très ensoleillées (Stapleton, 2000).

Le climat de Tadoussac ne répond pas parfaitement au climat nécessaire pour l'efficacité de cette méthode malgré certaines journées chaudes. En effet, les températures estivales à Tadoussac sont en moyenne de 15,8°C en prenant en compte les températures le jour et la nuit (Prairie Climate Centre, 2022) avec des températures maximales en journée pouvant varier de 18°C à 29°C (MELCCFP, 2023). Si le sol n'atteint pas des températures létales, les plantes ne seront pas tuées et pourront même pousser en dessous de la toile en plastique s'il manque d'irradiation solaire (Ressources naturelles Canada, 2018). Dans un contexte des changements climatiques et des hausses des températures, cette méthode pourrait être réalisable dans un futur plus ou moins proche selon les prévisions. Tout comme le paillage, la présence d'une toile de plastique, même transparente, n'est pas esthétique et naturelle dans un parc national d'autant plus, si son utilisation doit avoir lieu pendant la saison estivale, au point culminant des visites.

6.2 Désherbage thermique à la vapeur

Comme la solarisation, le désherbage à la vapeur est un traitement thermique, à la chaleur (Ressources naturelles Canada, 2018). Cela consiste à chauffer le sol ou pulvériser les plantes avec de la vapeur d'eau de 170°C à 250°C (24 heures, 2019; SIMOX, 2023). Le sol atteint alors des températures de 85 à 90°C entraînant la mort de la végétation, des racines, des graines, mais aussi de tout autres formes d'organismes vivant dans le sol (Bauer et al., 2020; Cloutier, 2002). C'est donc un désherbage immédiat dû au choc thermique selon la durée d'exposition aux températures extrême (Alpha Mechanics, 2023).

Le désherbage à la vapeur peut être effectué avec plusieurs appareils. En agriculture, les terres sont soit bâchées avec une toile en plastique, soit recouvert par une cloche en métal, puis rattaché à un appareil diffusant la vapeur d'eau via des tuyaux (SIMOX, 2023). Certaines municipalités en Europe et à Valleyfield au Québec (Ville de Salaberry-de-Valleyfield, 2022), pratiquent cette technique pour désherber les trottoirs et pavés des villes. Dans ce cas, le traitement est fait avec une machine portable sur roue accompagnée d'un manche pour cibler les endroits à traiter (figure 9) (Alpha Mechanics, 2023).



Figure 9 Appareils de désherbage à la vapeur d'eau.

Source : Alpha Mechanics, 2023

Cette technique est très efficace et précise pour les petites zones et sur les sols grossiers et secs (Ressources naturelles Canada, 2018). Elle est beaucoup plus efficace que la solarisation, car elle chauffe la surface du sol à des températures beaucoup plus élevées. De plus, l'exposition à la chaleur peut être de courte durée tout en étant très efficace pour le désherbage (24 heures, 2019). Le désherbage à la vapeur est néanmoins très énergivore en eau et en essence. Les machines et l'équipement spécifique sont également coûteux à l'achat en plus des coûts associés à l'énergie (Ressources naturelles Canada, 2018). Les employés auront besoin d'être formés aux appareils et à leur fonctionnement. De plus, ces machines ne sont pas encore disponibles dans la province du Québec. Finalement, le déplacement d'une machine portable à vapeur pourrait être difficile à déplacer dans le sable et à transporter jusqu'à la dune supérieure. Par conséquent, cette méthode n'est pas possible sur le site des dunes de Tadoussac pour le moment.

2. Choix des méthodes

1. Critères de sélection

Plusieurs critères déterminent la méthode de contrôle la plus adaptée et la plus pertinente à utiliser sur le territoire pour contrôler la végétation (Hydro-Québec, s. d.; Ressources naturelles Canada, 2018; Sébire, 2015) :

- **Le type de végétation ciblée et les caractéristiques des espèces**
- **La taille de la zone à contrôler**
- **Le dynamisme de la végétation soit, la période de croissance, la vitesse de croissance, la densité et la hauteur de la végétation dans la zone**
- **L'axe d'intervention souhaité**
- **Les ressources humaines, financières et matérielles nécessaires et disponibles**
- **Les avantages, les inconvénients et les potentiels impacts sur le milieu naturel**

L'analyse de ces critères pour chaque zone de contrôle permettra d'utiliser la bonne méthode, au bon moment, à la bonne fréquence et au bon endroit (Hydro-Québec, s. d.). Le tableau de l'annexe 1 présente une synthèse de l'information sur les méthodes de contrôle de la section 1. Il permet de rapidement identifier et comparer les méthodes selon ces critères. Les méthodes pourront être combinées entre elles afin de maximiser l'efficacité du contrôle (Hydro-Québec, s. d.) et incorporer dans un plan de gestion de la végétation.

2. Fréquence

Selon les méthodes choisies, celles-ci pourraient être réalisées à fréquence variable, de manière espacée entre les années ou devenir des activités courantes d'entretien annuel de la végétation. Par exemple, le désherbage, l'arrachage et le débroussaillage pourraient être réalisés chaque année pour limiter l'avancée de la végétation dès le début du stade de développement tandis que des opérations d'élagage ou de paillage inorganique pourraient être réalisées de façon plus ponctuelle, selon les besoins. Les activités de récréation extensives seraient pratiquées seulement durant la saison estivale pendant les dates d'ouvertures du parc national. Toutefois, elles seraient plus efficaces durant les mois de juillet et d'août lors de l'augmentation de l'achalandage.

Les conditions climatiques aux dunes de Tadoussac sont à prendre en compte dans la fréquence d'utilisation des méthodes. Certains guides suggèrent que les opérations d'entretien manuel et motorisé soient répétées à plusieurs reprises durant la saison de croissance des végétaux (Ressources naturelles Canada, 2018; UICN France, 2016). Cette recommandation peut ne pas s'appliquer au contexte des dunes. En effet, la saison de croissance fait référence à la durée où les conditions climatiques permettent aux plantes de croître au cours d'une année (Gouvernement du Canada, 2016). Selon cette durée, le climat et les conditions du sol, la végétation peut croître plus ou moins vite. La saison de croissance à Tadoussac entre 1951 et 2010 était en moyenne de 101 à 120 jours en comparaison à la Montérégie qui est de 141 à 160 jours (Gouvernement du Canada, 2016). À Tadoussac, la végétation a donc une période plus courte pour croître en comparaison au sud du Québec. À cela peut s'ajouter l'hostilité du milieu des dunes. Les vents y sont forts, l'érosion éolienne est visible et les sols xériques sont peu fertiles (Dignard, 1992). Ces

conditions contribuent à diminuer la rapidité de croissance des végétaux aux dunes (Dignard, 1992). On observe notamment dans le suivi du PSIE des équipes de la Sépaq, sur une période de 10 ans, que les îlots de végétation identifiés et analysés n'évoluent pas rapidement (Lavoie & Gilbert, 2015). On peut en conclure que la végétation des dunes de Tadoussac est potentiellement moins réactive au drageonnement, ou à la repousse suite à la coupe motorisée ou manuelle. En effet, la coupe motorisée est plus efficace sur les sites secs. Par exemple, les feuillus comme le peuplier faux-tremble y repoussent moins vite que dans des sites humides (Biring et al., 1996). À Tadoussac, les méthodes d'entretien manuel et motorisé n'auront donc pas besoin d'être répétées plusieurs fois pendant la saison de croissance. À titre de comparaison, au parc national du Bic, le débroussaillage pour entretenir le paysage agricole et culturel n'est effectué qu'une seule fois dans l'année, en septembre (M. Sabourin, parc national du Bic, communication personnelle, 14 avril 2023).

Conclusion

Le contrôle de la végétation sur le site des dunes de Tadoussac permettrait de maintenir le paysage humanisé unique des dunes et donc l'hétérogénéité du paysage de la Haute-Côte-Nord (Dubois, 2022). De plus, il maintiendrait le haut lieu d'observation de la migration des oiseaux néotropicaux (Bélisle et al., 2001; Ibarzabal et al., 2009; Limoges, 2002; Villard, 2021). La sélection des méthodes de contrôle de la végétation doit reposer sur plusieurs critères : le climat, le sol de type sablonneux, l'enjeu de l'érosion, le contexte de projet de parc national et l'impact de la méthode sur l'environnement. Ces critères ont permis de choisir des méthodes adaptées au contexte du site et acceptables pour une future aire protégée.

Tout d'abord, cinq types de méthodes de contrôle de la végétation ont été sélectionnés pour le site des dunes de Tadoussac et présentés dans ce document : les méthodes manuelles comme le désherbage, l'arrachage et la coupe ; les méthodes motorisées comme le débroussaillage, l'élagage, l'étêtage et l'abattage ; l'annélation ; le paillage et les méthodes de récréation extensives. D'autres méthodes utilisées dans le monde comme la solarisation et le désherbage à la vapeur ont également été présentées, mais ne sont pas applicables à l'heure actuelle. Celles-ci sont présentées dans ce document à titre d'information, si la situation venait à évoluer. Les avantages, les inconvénients et les impacts potentiels sur l'environnement ont été identifiés pour chacune des méthodes. Finalement, le choix des méthodes et la fréquence d'application dépendent de plusieurs facteurs dont : le type de végétation ; la taille de la zone à contrôler ; l'axe d'intervention souhaité ; les ressources matérielles, humaines et financières disponibles ; le dynamisme de la végétation ; les avantages, inconvénients et les impacts environnementaux.

Un plan de contrôle devrait être réalisé pour mettre en œuvre les différentes méthodes qui seront privilégiées par les futurs gestionnaires du territoire. Un calendrier combinant les périodes importantes pour la Sépaq, pour l'OOT, pour les futurs visiteurs et des cycles biologiques d'importance devrait être réalisé pour choisir la période la plus propice pour chaque méthode de contrôle. Cela inclura les périodes sensibles pour la faune (migration, reproduction), les périodes les plus propices de chaque méthode selon les guides, les activités scientifiques de l'OOT, la saison estivale ouverte aux visiteurs, les périodes les plus achalandées ainsi que la disponibilité des employés de la Sépaq pour effectuer les opérations. Des moyens d'atténuation devraient être mis en place pour diminuer les impacts sur l'environnement des méthodes de contrôle identifiées dans ce document. Finalement, le contrôle de la végétation produira des déchets végétaux. Des moyens de gestion de ces déchets sont également à élaborer.

Références bibliographiques

- 24 heures. (2019, mai 3). *De la vapeur sèche pour remplacer le glyphosate*. 24 heures. <https://www.24heures.ch/de-la-vapeur-seche-pour-remplacer-le-glyphosate-564310074082>
- Agriculture et agro-alimentaire Canada. (s. d.). *Gestion des mauvaises herbes : La lutte mécanique contre les mauvaises herbes*. Consulté 20 mars 2023, à l'adresse https://www.umanitoba.ca/outreach/naturalagriculture/weed/files/nonchemical/mechanical_f.htm
- Alpha Mechanics. (2023). *Systèmes désherbage éco alternatifs, désherbage*. https://www.alphamech.ch/comparatif_solutions_desherbage_alternatif
- Basham, J. T., Hudak, J., Lachance, D., Magasi, L. P., & Stillwell, M. A. (1976). Balsam fir death and deterioration in eastern Canada following girdling. *Canadian Journal of Forest Research*, 6(3), 406-414. <https://doi.org/10.1139/x76-054>
- Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*, 25(4), 335-345. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>
- Bauer, M. V., Marx, C., Bauer, F. V., Flury, D. M., Ripken, T., & Streit, B. (2020). Thermal weed control technologies for conservation agriculture—A review. *Weed Research*, 60(4), 241-250. <https://doi.org/10.1111/wre.12418>
- 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*.
- Biring, B. S., Comeau, P. G., & Boateng, J. O. (1996). *Effectiveness of Forest Vegetation Control Methods in British Columbia* (Gouvernement du Canada). <https://a100.gov.bc.ca/pub/eirs/finishDownloadDocument.do;jsessionid=2180392F3331889B9684449B610D4386?subdocumentId=13307>
- Blumstein, D. T. (2010). Conservation and animal welfare issues arising from forestry practices. *Animal Welfare*, 19(2), 151-157. <https://doi.org/10.1017/S0962728600001408>
- Cambi, M., Certini, G., Neri, F., & Marchi, E. (2015). The impact of heavy traffic on forest soils : A review. *Forest Ecology and Management*, 338, 124-138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>
- Centre de ressources pour propriétaires fonciers. (2001). *Bulletin de diffusion : De l'espace pour grandir, la Lute contre la végétation concurrente*. http://www.lrconline.com/Extension_Notes_French/pdf_F/rm_grw_F.pdf
- Centre forestier de formation Lyss. (2014). *Méthode de l'annélation*. https://www.waldbau-sylviculture.ch/publica/2014_2_annelation.pdf
- Cloutier, D. (2002). *5th EWRS Workshop on Physical and Cultural weed Control* (p. 309). European weed research society. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=f16b9b082fd69b07dcb992245b987fbbabaf9ca9#page=265>
- CNESST. (2020). *Débroussaillage*. Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

- Cole, D. N. (1995). Experimental Trampling of Vegetation. I. Relationship Between Trampling Intensity and Vegetation Response. *Journal of Applied Ecology*, 32(1), 203-214. <https://doi.org/10.2307/2404429>
- Conservatoire d'espaces naturels Champagne-Ardenne. (2019, mars 7). *Premier chantier nature de l'année*. Conservatoire d'espaces naturels de Champagne-Ardenne. <https://cen-champagne-ardenne.org/articles/premier-chantier-nature-lannee>
- Delage, V. (2002). *La végétation en bordure des cours d'eau—Rôle et méthodes de gestion*. Conseil de gestion du bassin versant de la Yamaska (COGEBY). <https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1257/>
- 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.
- Dubois, A. (2022). *Analyse du couvert forestier des dunes de Tadoussac dans le cadre de l'implantation d'un futur parc national* [Rapport de maîtrise, non publié]. Université de Sherbrooke.
- Dubois, A. (2023a). *Étude de la perception de la population locale et des visiteurs sur la revégétalisation des dunes de Tadoussac—Enquête sociale 2023* (p. 56). [Rapport, non publié]. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs.
- FAO, O. des N. U. pour l'alimentation et l'agriculture. (1994). *Le Travail du Sol pour une Agriculture Durable*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. <https://www.fao.org/3/W7304F/w7304f04.htm>
- Francis, C. D., & Barber, J. R. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife : An urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305-313. <https://doi.org/10.1890/120183>
- Gouvernement Canada, E. et C. climatique. (2018, octobre 30). *Lignes directrices pour éviter de nuire aux oiseaux migrants* [Recherche]. <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/prevention-effets-nefastes-oiseaux-migrants/reduction-risque-oiseaux-migrants.html>
- Gouvernement du Canada. (2019). *Gestion de la végétation pour la régénération de la couverture forestière sur des sites pétroliers et gaziers*. Ressources naturelles Canada.
- Gouvernement du Canada. (2016, mai 11). *Saison de croissance*. Ressources naturelles Canada. <https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/changements-climatiques/indicateurs-des-changements-forestiers/saison-croissance/18471>
- Gouvernement du Canada, C. canadien d'hygiène et de sécurité au travail. (2023, avril 5). *CCHST : Limites d'exposition au bruit au Canada*. https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/noise/exposure_can.html
- Gouvernement du Québec. (2023). *Semis*. Office Québécois de la langue française. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8476777/semis>
- 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=kCb6p6lVFHrAC&oi=fnd&pg=PA1&ots=JTedKTWk9i&sig=ai0gSXEN4dMq23N4a7Qa8pic3zl&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- 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>
- Hydro-Québec. (s. d.). *Maîtrise intégrée de la végétation dans les emprises- Synthèse des connaissances environnementales pour les lignes et les postes • 1973-2013*. Consulté 9 mars 2023, à l'adresse https://www.hydroquebec.com/data/developpement-durable/pdf/19_MaitriseIntegreeVegetation.pdf
- Hylgaard, T., & Liddle, M. J. (1981). The Effect of Human Trampling on a Sand Dune Ecosystem Dominated by *Empetrum nigrum*. *Journal of Applied Ecology*, 18(2), 559-569. <https://doi.org/10.2307/2402417>
- 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.
- ISA, I. S. of A., & SIAQ, S. internationale d'arboriculture Q. inc. (2013). *Comment l'étagage blesse les arbres* (Société internationale d'arboriculture Québec inc.). <https://www.siaq.org/media/1247/comment-le-te-tage-blesse-les-arbres-vfinal.pdf>
- Lavoie, N., & Gilbert, R. (2015). *Suivi PSIE des terrasses marines résultats 2015*. Parc national du Fjord-Saguenay.
- Liddle, M. (1997). Recreation ecology : The ecological impact of outdoor recreation and ecotourism. *Recreation Ecology: The Ecological Impact of Outdoor Recreation and Ecotourism*. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19981802087>
- Limoges, B. (2002). *ZICO de Tadoussac, une fenêtre sur la Boréalie, 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/>
- Marion, J. L., Leung, Y.-F., Eagleston, H., & Burroughs, K. (2016). A Review and Synthesis of Recreation Ecology Research Findings on Visitor Impacts to Wilderness and Protected Natural Areas. *Journal of Forestry*, 114(3), 352-362. <https://doi.org/10.5849/jof.15-498>
- McCully, K., & Jensen, K. (2004). *Guide de lutte intégrée contre les mauvaises herbes dans les cultures de fraises*. Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick (MAPANB). <https://www2.gnb.ca/content/dam/gnb/Departments/10/pdf/Agriculture/SmallFruits-Petitsfruits/FraiseLutteIntegree.pdf>
- MELCCFP, M. de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. (2023). *Donnée climatiques, observations quotidiennes*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/OQMmultiple.asp>
- MFFP, M. des F., de la Faune et des Parcs. (2018). *Politique sur les parcs nationaux du Québec*. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.
- OOT. (2023). *Observatoire d'oiseaux de Tadoussac – Organisation*. Observatoire des oiseaux de Tadoussac. <https://www.explosnature.ca/ooot/organisation/>
- 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 Canada. (2016). *Pratiques exemplaires de gestion nationales de Parcs Canada Entretien et modification de campings et d'aires de fréquentation diurne*. https://buyandsell.gc.ca/cds/public/2020/12/02/1e9c5c6f06881526ec2ad79f9f9fbb17/annexe_d_-_campings_et_daires_de_frequentation_diurne.pdf
- Pescott, O. L., & Stewart, G. B. (2014). Assessing the impact of human trampling on vegetation: A systematic review and meta-analysis of experimental evidence. *PeerJ*, 2, e360. <https://doi.org/10.7717/peerj.360>
- Prairie Climate Centre. (2022). *Municipalité TADOUSSAC, Changements projetés dans la moyenne, Saison sans gel | Canada | Atlas climatique du Canada*. Atlas climatique du Canada, version 2. <https://atlasclimatique.ca/map/canada>
- Rando Québec. (2020). *Normes en aménagement de sentiers*. Rando Québec Éditions. https://www.randoquebec.ca/wp-content/uploads/2020/11/NormesEnAm%C3%A9nagementDeSentiers_web.pdf
- Ressources naturelles Canada. (2018). *Guide de la lutte mécanique contre la végétation*. Ressources naturelles Canada = Natural Resources Canada.
- 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>
- Sébire, H. (2015). *La gestion des espèces végétales exotiques envahissantes propriétaires dans les municipalités de l'Estrie* [Essai]. Université de Sherbrooke. https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais_2015/Sebire_H__2015-06-12_.pdf
- Seibold, S., Bäessler, 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>
- Shonfield, J., & Bayne, E. (2017). The effect of industrial noise on owl occupancy in the boreal forest at multiple spatial scales. *Avian Conservation and Ecology*, 12(2). <https://doi.org/10.5751/ACE-01042-120213>
- SIA, I. S. of A., & SIAQ, S. internationale d'arboriculture Q. inc. (2013a). *L'élagage d'arbres matures* (Société internationale d'arboriculture Québec inc.). <https://www.siaq.org/media/1252/le-lagage-des-arbres-matures-vfinal.pdf>
- SIA, I. S. of A., & SIAQ, S. internationale d'arboriculture Q. inc. (2013b). *L'élagage des jeunes arbres*. <https://www.siaq.org/media/1249/elagage-jeunes-arbres.pdf>
- SIMOX. (2023). Désinfection des sols : Méthode saine et naturelle. *Simox : Générateurs de vapeur basse pression*. <https://www.simox.fr/desinfection-des-sols/>
- 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>
- SPBCQ, S. des P. de B. du C.-Q. (s. d.). *Utilisation d'une débroussailleuse*. Consulté 21 mars 2023, à l'adresse https://www.foretrivee.ca/mauricie/wp-content/uploads/sites/3/2019/01/SPBM_Debroussailleuse.pdf

- Stapleton, J. J. (2000). Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Protection*, 19(8), 837-841. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00111-3](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00111-3)
- Thruston, E., & Reader, R. J. (2001). Impacts of Experimentally Applied Mountain Biking and Hiking on Vegetation and Soil of a Deciduous Forest. *ProQuest*, 27(3). <https://doi.org/10.1007/s002670010157>
- UICN France. (2016). *Les espèces exotiques envahissantes sur les sites d'entreprises Livret 2 : Identifier et gérer les principales espèces*. http://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/09/UICN_France_Guide_EEE_LIVRET2_MODIFIE.pdf
- IUCN, U. internationale pour la conservation de la nature. (2008). *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.fr>
- 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. (2021). *Rapport de caractérisation générale pour le projet de parc national des dunes-de-tadoussac*. Sépaq.
- Villard, M.-A., Grenier, G., & Lavoie, N. (n.d.). *État des connaissances : Projet de parc national des Dunes-de-Tadoussac* (non publié). Sépaq.
- Ville de Salaberry-de-Valleyfield. (2022). *Nouveau : Chaussées et trottoirs dés herbés à la vapeur*. Ville de Salaberry-de-Valleyfield. <https://www.ville.valleyfield.qc.ca/actualites/nouveau-chaussees-et-trottoirs-desherbes-a-la-vapeur>
- Westerveld, sean. (2013). *Barrières contre les mauvaises herbes dans la culture de plantes vivaces*. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales, Ontario. <http://omafra.gov.on.ca/french/crops/organic/news/2013/2013-08a3.htm>
- Yudono, P., Sunarminto, B. H., & Indradewa, D. (2020). *SOIL SOLARISATION FOR CONTROL OF WEED PROPAGULES*. 15.
- Zimmer (2023). Chaîne d'annélation triple [Photographie]. <https://www.zimmersa.com/serpes-machettes/3285-chaine-d-annelation-triple.html>

Annexe 1. Tableau synthèse des méthodes et moyens d'intervention de contrôle de la végétation proposés pour les terrasses marines de Tadoussac.

Méthodes	Végétation ciblée	Description	Outils	Avantages	Inconvénients/ impacts sur l'environnement
1. Entretien manuel	Herbacées, sous-arbrisseau, arbrisseau, semis et gaulis d'arbres et d'arbustes.	Coupe des parties aériennes et arrachages des parties souterraines à la force des bras	Outils sans moteurs, à la main	<p>Pas d'impact sur le milieu, pas de risque d'exposition à des produits chimiques</p> <p>Sélectif</p> <p>Pour les sites délicats et les petites zones</p> <p>Pas de compaction du sol (véhicule lourd)</p> <p>Silencieux</p>	<p>Chronophage</p> <p>Peut nécessiter des traitements répétés</p> <p>Travail physique</p> <p>Risque d'introduction de EEE</p>
1.1 Désherbage manuel	Jeune pousse au début du stade de développement : herbacées, sous-arbrisseau, arbrisseau, semis d'arbres et d'arbustes	Éliminer les parties aériennes et si possible souterraines des jeunes pousses de l'année	Sarcluse, binette, bêche, pioche, à la main	Élimine les jeunes plants dès leurs apparitions, au début de la colonisation.	Coûteux en temps sur de grande surface
1.2 Coupe manuelle	Jeunes arbres et arbustes	Couper et retirer des parties aériennes des végétaux (branches)	Sécateur télescopique, ébrancheur	Contrôle le développement et l'orientation des jeunes arbres et arbustes	Solution temporaire ou à répéter fréquemment

1.3 Arrachage	Herbacées et plantes rhizomateuses, racines, tubercules, bulbes	Endommager les racines et détruire les racines et rhizomes des espèces ciblées	Bêche, pioche, à la main	Technique la plus efficace pour éliminer les espèces rhizomateuses, à stolon, tubercules ou tiges souterraines. (Reproduction végétative)	L'oubli de rhizome en terre stimule la reproduction végétative et la pousse de drageon
2. Entretien motorisé	Herbacées, sous-arbrisseau, arbrisseau, arbustes et d'arbres.	Coupe des parties aériennes à l'aide d'appareils à moteur (essence ou électrique)	Outils électriques sans fils à batterie ou moteur à essence Matériel de sécurité de protection individuelle	Rapide, efficace sur de grandes surfaces Pas de compaction du sol (véhicule lourd)	Peut nécessiter des traitements répétés Formations auprès des employés pour l'utilisation des outils Risque d'introduction de EEE Pollution sonore (dérangement et effets négatifs sur la faune, des visiteurs et des scientifiques) Risque de destruction d'individus (œufs, juvéniles, micromammifères), de nids ou d'abris fauniques Rejet de GES et risque de fuite d'hydrocarbures
2.2 Débroussaillage	Espèces herbacées et ligneuses inférieures ou égal à 10cm de diamètre	Couper la végétation au niveau du sol	Scie d'éclaircissage (débroussailluse forestière à tête métallique)	Coupe toute la végétation au niveau du sol très rapidement	Rejets de souche et drageons

2.3 Élagage	Espèces ligneuses supérieures à 10cm de diamètre	Orienter ou limiter le développement d'un arbre ou d'un arbuste	Arboriculteur agréé ou employé formé, scie à chaîne (tronçonneuse), perche-élagueuse	Contrôle la hauteur des arbres au niveau des observatoires et oriente le développement	Risque de déchirer l'écorce et d'endommager les arbres. Risque de créer des blessures que l'arbre n'est pas capable de cicatriser
2.4 Étêtage	Espèces ligneuses supérieures à 10cm de diamètre	Réduire la hauteur des arbres et arbustes en coupant la cime	Arboriculteur agréé ou employé formé, scie à chaîne (tronçonneuse), perche-élagueuse	Contrôle la hauteur des arbres au niveau des observatoires	Risque de créer des blessures que l'arbre n'est pas capable cicatriser : ouverture aux maladies et au insectes
2.5 Abattage	Espèces ligneuses supérieures à 10cm de diamètre	Couper toutes les parties aériennes d'un arbre ou d'un arbuste sans le dessoucher	Arboriculteur agréé ou employé formé, scie à chaîne (tronçonneuse), perche-élagueuse	Système racinaire toujours présent assure la stabilité du sol	Rejets de souche et drageons. Possible destruction d'habitat pour la faune
3. Annélation	Espèces ligneuses supérieures à 10cm de diamètre	Retirer l'écorce d'un arbre sur toute sa circonférence jusqu'à l'aubier sur 10 à 20 cm de largeur : dépérissement lent et mort de l'arbre dans les 2 à 3 ans	Hache, scie, scie à chaîne (tronçonneuse), lame métallique et brosse métallique	Chicot (arbre mort) reste sur le site : favorable pour son utilisation par la faune Moins de rejets de souche qu'un abattage Silencieux sauf si utilisation de la scie à chaîne	Dépérissement et mort lente Risque de chute incontrôlée. À ne pas utiliser près des infrastructures et des zones fréquentées du public Pollution sonore et rejets de GES associé à la scie à chaîne Entaille trop profonde entraîne la

						pourriture rapide du tronc et chute incontrôlée de l'arbre
4. Paillage	Aucune végétation pour de la prévention / jeune pousse au début du stade de développement	Inhibe la germination des graines ou arrête la croissance de nouvelles pousses de végétaux (désherbage)	Paillage organique ou inorganique	Efficacité sur les grandes zones		Transport jusqu'à la zone traitée Pas esthétique et pas naturel (sauf le sable et gravier) Il faut en remettre avec le temps Végétation peut pousser à travers le paillis Risque d'introduction d'EEE
- Organique	-	-	Copeaux de bois, sciure de bois, copeaux d'écorce, aiguilles d'épinette ou de pin	-		Se décompose, retient l'eau et l'humidité : améliore les conditions organiques du sol, favorise la colonisation des végétaux Risque d'introduction d'EEE
- Inorganique	-	-	Sable, gravier, cailloux, géotextiles, pellicules de plastique noir, toile de jute	Sable et gravier donnent un aspect naturel et peuvent être trouvés sur le site		Temps de bâchage pour désherber varie selon les espèces et est seulement connus pour les EEE Impact sur le paysage (pellicule plastique)

<p>5. Activités de récréation extensive</p>	<p>Jeune pousse au début du stade de développement : herbacées, sous-arbrisseau, arbrisseau, semis d'arbres et d'arbustes</p>	<p>Piétinement et écrasement des jeunes pousses, herbacées et sous arbrisseau</p>	<p>-</p>	<p>Activités récréatives pour les visiteurs</p> <p>Permet de continuer les activités déjà pratiquées sur le site</p> <p>Méthode passive, pas besoin d'intervention</p>	<p>Augmentation potentielle de l'érosion</p> <p>Dénudement des surfaces</p> <p>Déplacement des sols</p> <p>Augmentation potentielle du ravinement du haut du talus de la dune inférieure</p>
<p>6.1. Solarisation</p>	<p>Toutes végétations au ras du sol ou préalablement coupés</p>	<p>Tue les plantes, racines, graines, micro-organismes, champignons, faunes du sol : peut désinfecte le sol si longue application</p> <p>Inhibe la croissance par la chaleur. Désherbage thermique, chauffage du sol à 50°C</p>	<p>Pellicule plastique transparente, sacs de sable ou roches pour tenir la pellicule en place</p>	<p>Efficacité sur de grandes zones</p>	<p>Temps de bâchage pour seulement désherber inconnus.</p> <p>Désinfection du sol entraîne des modifications physico-chimiques</p> <p>Pas esthétique, pas naturel</p> <p>Peut-être pas applicable au climat de Tadoussac</p>
<p>6.2. Désherbage à la vapeur</p>	<p>Herbacées et végétations au ras du sol préalablement coupé</p>	<p>Désherbage : tue les plantes, racines, graines, micro-organismes, champignons, faunes du sol. Inhibe la croissance par la chaleur (vapeur d'eau à 180°C). Désinfection du sol</p> <p>Désherbage thermique, chauffage du sol à 90°C</p>	<p>Machine à vapeur, bâches plastiques ou plaques métalliques / cloches (+ machine qui envoie la vapeur d'eau)</p>	<p>Efficace sur les sols grossiers et secs</p>	<p>Consomme beaucoup d'eau et d'essence : énergivore</p> <p>Coût élevé</p> <p>Équipement spécialisé et employés formés</p> <p>Non disponible au Québec</p>