

---

# **PROGRAMME D'AIDE À LA RECHERCHE TECHNOLOGIQUE**

---

## ***ÉTUDE DE FAISABILITÉ SUR L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN DU PIN GRIS***

Présenté par :

Guy Lessard, ing.f., M.Sc.  
Donald Blouin, ing.f., M. Sc.  
Nadia Zenadocchio, ing.f.  
Odette Ruest  
Munyonge AbwewaMasabo, ing.f., M.Sc.



*Centre d'enseignement et de recherche  
en foresterie de Sainte-Foy inc.*

Yves Paradis  
Jacques Lewandowsky

**CTA**

*Centre technologique en aérospatiale*

**Janvier 1998  
(2<sup>e</sup> version)**

## RÉSUMÉ

---

L'ensemencement aérien de différentes espèces conifériennes pourrait être une solution valable et peu coûteuse pour assurer le renouvellement des peuplements forestiers sur des sites fragiles. Avec la collaboration de Domtar, une revue de littérature a permis de rassembler l'information concernant, non seulement l'ensemencement du pin gris mais également l'ensemencement de l'épinette noire, de l'épinette blanche et du pin blanc. Une étude de faisabilité a été entreprise pour les secteurs du lac Gull et du lac Écorce au nord de l'Outaouais. Les aspects opérationnels comme le traitement et la conservation des semences, les équipements (semoirs, aéronefs) ainsi que le suivi ont également été couverts. Un volet spécial a été développé par le CTA et comprend une section sur la géoréférence et l'utilisation potentielle de la télédétection. Plusieurs recommandations sont mises de l'avant pour la planification de l'ensemencement aérien. Une attention particulière a été apportée au choix des essences à utiliser en fonction du sol et des conditions rencontrées sur le terrain.

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>i</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES.....</b>	<b>ii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS.....</b>	<b>v</b>
<b>CONTEXTE.....</b>	<b>1</b>
<b>1. MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. COLLECTE DE L'INFORMATION .....</b>	<b>5</b>
2.1 Historique de l'ensemencement aérien.....	5
2.1.1 Les pionniers : Le Manitoba.....	5
2.1.2 L'Ontario.....	6
2.1.3 Le Québec rejoint l'Ontario.....	7
2.2 L'ensemencement aérien du pin gris.....	8
2.2.1 Le pin gris.....	8
2.2.2 La préparation du site .....	8
2.2.3 Les conditions édaphiques .....	9
2.2.4 La période d'ensemencement.....	9
2.2.5 Le taux d'ensemencement .....	10
2.3 Les autres espèces utilisées pour l'ensemencement aérien.....	11
2.3.1 Épinette noire ( <i>Picea mariana</i> ).....	11
2.3.2 Le pin blanc ( <i>Pinus strobus</i> L.) .....	12
2.3.3 L'épinette blanche ( <i>Picea glauca</i> ) .....	13
2.4 Les semences : traitement et conservation.....	17
2.4.1 L'enrobage .....	17
2.4.2 Les fongicides et l'entreposage des semences.....	18
2.4.3 Un traitement pour éviter la prédation.....	19
2.4.4 Les traitements osmotiques.....	19
2.4.5 La stratification.....	20
2.4.6 Le transport des semences et leur conservation.....	21
2.5 Les équipements .....	22
2.5.1 Les semoirs.....	22
2.5.2 Les aéronefs.....	23

## TABLE DES MATIÈRES (suite)

---

2.6	Localisation et suivi traditionnel de l'ensemencement.....	24
2.6.1	Localisation sur le terrain.....	24
2.6.2	L'inventaire et le suivi des programmes d'ensemencement.....	24
2.7	La géoréférence .....	25
2.7.1	Description des composantes .....	26
2.7.2	Potentiel d'utilisation.....	28
2.7.3	Planification des levées, équipements et logiciels GPS.....	28
2.7.4	Systèmes existants.....	30
2.8	Utilisation potentielle d'un système de télédétection pour la planification et le suivi des ensemencements aériens .....	31
2.8.1	Mesures souhaitées.....	31
2.8.2	Comparaison des systèmes disponibles et proposition .....	33
<b>3.</b>	<b>LE PROJET D'ENSEMENCEMENT AÉRIEN.....</b>	<b>36</b>
3.1	Introduction.....	36
3.2	Maître d'oeuvre .....	37
3.3	Localisation du territoire .....	37
3.4	La description des sites .....	37
3.5	Choix des essences d'ensemencement .....	38
3.6	Les semences.....	41
3.6.1	Le traitement des semences.....	44
3.7	La préparation du terrain et la période d'ensemencement.....	45
3.8	Le choix de l'équipement et du contracteur .....	45
3.9	Comparaison des coûts d'opération de deux modes de régénération artificielle.....	46
3.10	Le calendrier des travaux .....	47
	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>48</b>
	<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>49</b>
	 ANNEXE 1	
	ANNEXE 2	

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1</b>	Travaux d'ensemencement réalisés au Québec.....	7
<b>Tableau 2</b>	Comparaison des différents systèmes de télédétection.....	34
<b>Tableau 3</b>	Importance économique (et/ou écologique) et écologies générales des essences choisies .....	39
<b>Tableau 4</b>	Sites, taux d'ensemencement et quantité des semences par essence .....	41
<b>Tableau 5</b>	Taux à l'hectare : reboisement classique vs ensemencement aérien.....	46
<b>Tableau 6</b>	Le calendrier des travaux.....	47

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 1</b>	Le schéma du concept de la géoréférence .....	25
-----------------	---	----

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

---

<b>C.E.R.FO.</b>	Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy
<b>C.T.A.</b>	Centre technologique en aérospatial
<b>G.P.S.</b>	Global Positioning System
<b>L.S.T.A.</b>	Limited Supplement Type Approval
<b>M.E.R.</b>	Ministère de l'Énergie et des Ressources
<b>N.A.V.S.T.A.R.</b>	Navigation Satellite Timing and Ranging
<b>O.I.F.Q.</b>	Ordre des ingénieurs forestiers du Québec
<b>P.A.R.T.</b>	Programme d'aide à la recherche technologique
<b>S A.S.</b>	Service aérien spécial
<b>S.T.A.</b>	Supplement Type Approval
<b>U.Q.A.C.</b>	Université du Québec À Chicoutimi

## CONTEXTE

---

C'est dans un contexte de biodiversité, de développement durable et d'optimisation des coûts que de nouvelles approches pour le renouvellement des ressources forestières sont envisagées. Certains sites fragiles ou difficilement accessibles pourraient bénéficier d'un ensemencement aérien de certaines espèces conifériennes qui répondent bien à ce type de traitement. Cette technique présente une solution peu coûteuse qui assurerait la régénération des peuplements. Plusieurs programmes d'ensemencement aérien sont actuellement en cours en Ontario et tout porte à croire que des résultats aussi prometteurs pourraient être obtenus au Québec.

Dans le cadre du programme d'aide à la recherche technologique (PART) du ministère de l'Éducation, le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) et le Centre technologique en aérospatiale (CTA) se sont associés avec les Produits forestiers Domtar, Division Grand-Remous afin de réaliser une étude de faisabilité pour l'ensemencement aérien de différentes espèces. Dans les secteurs du lac Écorce, de la baie serpent et sauterelle au nord de l'Outaouais, Domtar effectue des opérations forestières pour approvisionner son usine de sciage et exploite actuellement des peuplements forestiers de pin gris et d'épinette noire. Certains peuplements ne présentent pas de régénération préétablie sur les sites sablonneux et les tills minces. L'ensemencement aérien pourrait donc devenir un élément important d'une stratégie de remise en production des aires récoltées.

Plusieurs éléments ont été intégrés dans l'étude de faisabilité d'ensemencement aérien. Le CERFO s'est surtout penché sur le type d'espèces à semer selon les sols et les conditions écologiques présentes. La localisation des sites, la préparation de terrain, la période d'ensemencement ainsi que les dispositions à prendre lors de l'épandage et le suivi des opérations font partie de cette étude. De plus, les caractéristiques particulières des semences en ce qui a trait à leur taux de germination et les prétraitements possibles des semences ont été étudiées pour déterminer les conditions optimales d'ensemencement.

Nous présentons également deux sections portant respectivement sur la géoréférence et le potentiel d'utilisation de l'ensemencement aérien qui découlent directement du rapport remis par le CTA.



## 1. MÉTHODOLOGIE

---

Une étude de faisabilité technique, économique et écologique a été entreprise sur l'ensemencement aérien. Afin d'atteindre le but fixé, une équipe de travail a été formée comprenant les représentants et les responsables de chaque organisme partenaire.

Des rencontres de planification ont été prévues afin de bien structurer le plan d'action. Une rencontre dans les locaux du CTA a également permis de préciser les besoins potentiels et de coordonner les efforts de recherche. Deux réunions ont eu lieu au CERFO avec les responsables du CTA afin de déterminer le plan de travail, les tâches et l'échéancier. Une seconde réunion a eu lieu au CERFO avec M. Boies, des Services aériens spécialisés (SAS), afin de prendre connaissance des aspects opérationnels de l'ensemencement. Plusieurs contacts Internet ont été établis avec M. Mike Adams, du Service canadien des forêts à Sault Sainte-Marie, afin d'échanger sur les différents aspects de recherche sur l'ensemencement aérien dont il s'occupe depuis plus de 15 ans. Des échanges de documents ont également été effectués avec M. Charles Bergeron, du Service des traitements sylvicoles, qui a participé activement à l'organisation et au suivi des travaux d'ensemencement avant le programme de reboisement de 300 millions de plants. Quelques informations ont été récoltées auprès de M. Réjean Gagnon de l'Université du Québec à Chicoutimi.

Une recherche bibliographique a été effectuée par le CERFO afin de recenser et consulter les différents articles scientifiques, rapports et autres publications concernant l'ensemencement aérien ou terrestre en foresterie pour différentes espèces (pin gris, pin blanc, épinette blanche, épinette noire). Le CTA a également passé en revue l'information disponible pour la géoréférence et la télédétection.

Les Produits forestiers Domtar inc. nous ont fourni toute l'information concernant le territoire (photos aériennes, cartes, etc., voir annexe 1). Des

visites ont également été organisées pour vérifier les prescriptions et le choix des espèces. Ils se sont également chargés de la planification, de la préparation de terrain et de la commande des semences. Le CTA a par la suite effectué une synthèse de l'information avant de procéder à des propositions pour l'utilisation des technologies de géoréférence et de télédétection et des suggestions de suites au projet.

Le CERFO a également colligé et synthétisé toute l'information pour le présent rapport. Le projet d'ensemencement aérien au nord de l'Outaouais dans les secteurs du Lac Gull et du Lac Écorce en est découlé.

## 2. COLLECTE DE L'INFORMATION

---

### 2.1 HISTORIQUE DE L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN

#### **2.1.1 LES PIONNIERS : LE MANITOBA**

Les premiers essais d'ensemencement *à la volée* ont eu lieu au Manitoba en 1920 (Cayford, Chrosciewicz et Sims, 1967). Une superficie de 1.5 acre recouverte à l'origine de jeunes peupliers, saules et bouleaux a été scarifiée afin d'exposer le sol minéral. Le sol plutôt sec et de type sablonneux offrait un lit de germination adéquat pour l'ensemencement de pin gris. Les résultats initiaux étaient prometteurs, mais la prédation des nouveaux semis a rapidement mis fin au projet (Haig *in* Cayford, Chrosciewicz and Sims, 1967).

Entre 1925 et 1928, plusieurs superficies d'au plus quelques acres ont été ensemencées avec du pin gris dans le sud-est du Manitoba (Cayford, Chrosciewicz and Sims, 1967). Chaque site a été rigoureusement préparé à l'aide de disques et ensuite hersé afin de recevoir les semences. De bons niveaux de stocking ont pu être obtenus car une attention particulière avait été apportée au choix des sites, à la période d'ensemencement, à la préparation de terrain et aux conditions climatiques présentes.

C'est en 1943 que le premier programme d'ensemencement s'est fait de façon opérationnelle au Manitoba (Cayford, Chrosciewicz and Sims, 1967). Des semences de pin gris ont été utilisées sur des sites bien drainés où la végétation présente avait été éliminée par voie mécanique. La scarification des sites a favorisé la germination des semences et aidé au développement des jeunes semis. Une méthode d'inventaire à base de quadrants a été mise au point permettant ainsi d'évaluer les résultats observés.

D'autres essais impliquant une combinaison de reboisement et d'ensemencement du pin gris ont été effectués dans de jeunes peuplements très denses de peupliers. Suivant des coupes par bandes pratiquées au début des années soixante, on a tenté de convertir ces peuplements de feuillus intolérants en peuplements mixtes. Les bandes étaient situées sur des sols à textures très variées. On retrouvait des loams, des loams sableux, du sable et des loams argileux. Le drainage, quant à lui, variait de sec à très humide. Chaque bande a été scarifiée afin de recevoir les plants de pin gris ou les semences. Suite aux inventaires, on a conclu que la combinaison des deux méthodes donnait d'excellents résultats.

### **2.1.2 L'ONTARIO**

L'Ontario s'est engagé dans des programmes d'ensemencement de pin gris en 1949 (Cayford, Chrosciewicz and Sims, 1967). Un peuplement de pin gris de 60 ans parsemé de peupliers faux-tremble a subi différents régimes de coupe laissant de moins en moins de couvert végétal sur pied. Cette superficie totalisant 15 acres a été débusquée en utilisant différentes méthodes dans le but de brasser le sol et d'exposer la couche minérale. On a observé que la régénération s'est bien établie suite à l'ensemencement de pin gris et a permis de remettre le site en production.

Lors de ces essais préliminaires, l'Ontario a tenté des expériences avec le brûlage contrôlé des sites avant de procéder à l'ensemencement. Le feu a eu l'effet d'exposer le sol minéral à certains endroits, d'éliminer les débris de coupe et de réduire la compétition. Les semences ont réussi à germer seulement sur les sites exposés indiquant ainsi l'importance du scarifiage lors des programmes d'ensemencement.

Quelques données sont disponibles sur les ensemencements aériens effectués en Ontario de 1963 à 1982 (Smith, 1984). Seulement 462 ha avaient été ensemencés au début des années soixante contre plus de 21 000 ha en 1982. Pendant l'année 1980, une superficie supérieure à 44

500 ha a étéensemencée avec du pin gris par voie aérienne. C'était la plus grande superficieensemencée pour une année donnée.

### **2.1.3 LE QUÉBEC REJOINT L'ONTARIO**

C'est en 1967 que le Centre de recherche forestière des Laurentides, avec la coopération des ministères des Terres et Forêts du Québec et de l'Ontario ainsi que l'Anglo-Canadian Pulp and Paper Mills Ltd. a réalisé un ensemencement aérien à grande échelle (Frisque, 1975). La station choisie pour l'ensemencement se trouvait dans la région de Forestville-Bersimis sur la Côte-Nord. Elle couvrait une superficie de 130 ha qui avait été coupée à blanc et avait ensuite été brûlée. Il s'agissait d'une vaste plaine sableuse de drainage moyen où un peuplement de pins gris et d'épinettes noires s'était établi. L'ensemble de la superficie a été scarifié et ensemencé à l'automne avec des graines de pin gris. L'épandage des semences s'était fait en seulement 75 minutes.

**TABLEAU 1 — TRAVAUX D'ENSEMENCEMENT RÉALISÉS AU QUÉBEC**

<b>ANNÉE</b>	<b>NOMBRE D'HECTARES TRAITÉS</b>	<b>ESSENCE UTILISÉE</b>
1967	130	pin gris
1974-1980	18 436	pin gris, épinette noire
1990-1991	83	pin gris
1992-1993*	120	n.d.
1993-1994*	66	n.d.
1994-1995*	262	n.d.
1996*	462	n.d.

*\* Ces données englobent les ensemencements aériens et terrestres sans spécifier les essences utilisées.*

L'épandage de semences forestières par voie aérienne ou terrestre en vue d'assurer la régénération des forêts est une technique utilisée d'une façon opérationnelle depuis 1972 au Québec (Bergeron et Paquet, 1982). On note que de 1974 à 1980, quelque 18 436 ha ont été ensemencés par voie aérienne,

représentant ainsi 64 % de la superficie totaleensemencée durant cette période. Ces ensemencements ont été effectués en majeure partie (80 %) dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue. Les essences ensemencées étaient le pin gris (83 %), l'épinette noire (11 %) et un mélange des deux essences (6 %) dans des proportions variables.

Suite aux grands feux dont le Québec a été victime au cours des dernières années, on remarque un regain d'intérêt pour les programmes d'ensemencement aérien, supervisés en partie par M. Réjean Gagnon, de l'UQAC pour les compagnies Donohue et Domtar. Certains sites présentent des conditions favorables à cette démarche et pourraient être rapidement remis en production.

## **2.2. L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN DU PIN GRIS**

### **2.2.1 LE PIN GRIS**

Déjà en 1930, des stockings de plus de 2000 tiges à l'acre pouvaient être obtenus suite à des programmes d'ensemencement avec du pin gris sur des sites scarifiés (Cayford, Chrosciewicz et Sims, 1967). Afin d'améliorer les résultats et d'étendre ses champs d'application, les chercheurs se sont penchés sur des éléments particuliers entourant les programmes d'ensemencement.

### **2.2.2 LA PRÉPARATION DU SITE**

Il n'y a nul doute que la préparation de terrain contribue de façon très significative à la réussite de l'ensemencement. L'ensemble de la littérature démontre clairement que l'exposition des couches minérales du sol avant l'ensemencement favorise la création de meilleurs lits de germination (Paquet, 1982).

La méthode la plus utilisée est le scarifiage (Paquet, 1982). Ce procédé permet d'augmenter les températures à la surface du sol et d'ameubler les couches supérieures. Les semences ont donc plus de facilité à s'établir et à développer leur système racinaire.

Le brûlage dirigé peut aussi être utilisé pour préparer un site avant l'ensemencement. Le feu permet de mettre à nu le sol minéral, d'éliminer les déchets de coupe et de réduire la concurrence de la végétation nuisible aux semis (Paquet, 1982). Avec son passage, le feu altère les propriétés physiques et chimiques du sol, diminuant ainsi le pourcentage de matière organique présent. Toutefois, il a pour effet de stimuler le processus de nitrification qui s'avère bénéfique pour les plants. Le brûlage dirigé demande cependant une expertise non négligeable et des conditions optimales sur le terrain pour bien le maîtriser.

### **2.2.3 LES CONDITIONS ÉDAPHIQUES**

Les programmes d'ensemencement de pin gris ont donné les meilleurs résultats sur des sites sablonneux et bien drainés (Paquet, 1982). Lorsque les sols sont peu homogènes, on remarque que les semences trouvent difficilement des lits de germination adéquats. Les sols argileux tendent à retenir trop d'eau et empêchent le système racinaire du pin gris de se développer en profondeur. Il faut éviter les zones où le sol présente une texture trop grossière, des couches imperméables ou des nappes d'eau élevées.

### **2.2.4 LA PÉRIODE D'ENSEMENCEMENT**

Les auteurs sont partagés en ce qui a trait au meilleur moment pour effectuer l'ensemencement. Certains préfèrent épandre les semences tôt au printemps lorsque la température est plus clémente (Paquet, 1982). Au fur et à mesure que les conditions climatiques deviennent propices à la germination, les semences, déjà en place, peuvent se développer.

L'automne est aussi une période recommandée pour l'ensemencement (Paquet, 1982). Avant l'arrivée de la neige, les semences sont dispersées. Elles passent l'hiver sous la neige ce qui a pour effet de les stratifier. Ceci leur permet de conserver leur vitalité pendant la période hivernale pour ensuite interrompre leur dormance au printemps dès que les conditions

sont favorables. Les eaux qui s'écoulent transportent les semences et leur permettent de pénétrer dans le sol nouvellement exposé.

Pour des journées d'ensemencement, la meilleure période, c'est soit le matin très tôt ou tard en soirée quand la vitesse du vent est au minimum (Paquet, 1982).

### **2.2.5 LE TAUX D'ENSEMENCEMENT**

Lors des essais effectués au Québec, quelque 111 200 graines (89 000 viables) de pin gris ont été ensencées par hectare sur une plaine sablonneuse (Frisque, 1975). Une année après l'ensemencement, on dénombrait déjà 3 335 semis par hectare avec une distribution de 53 %. Le pin gris recouvrait, 5 ans après l'ensemencement, 61 % de la superficie et avait 6 050 semis/ha. On souligne que les graines de pin gris peuvent prendre jusqu'à 5 ans pour germer et que ces délais de germination devraient être pris en considération lors de l'évaluation des taux d'ensemencement. En somme, tous les projets d'ensemencement de pin gris révisés ont fait ressortir qu'un taux d'application inférieur à 37 000 graines par hectare donne des stockings moyens très faibles.

D'autres taux ont été déterminés du côté de l'Ontario par Riley en 1980. Selon ses calculs, un stocking optimum peut être obtenu avec seulement 50 000 graines/ha sur des sites où le sol minéral est exposé à 15-20 %. Des taux d'ensemencement supérieurs ne se traduisent pas par des stockings significativement plus élevés.

Certains brûlis ont aussi été ensencés à des taux de 0.49 kg/ha, 0.98 kg/ha et 1.24 kg/ha (Chrosciewicz, 1983). Il en découle que plus les terrains sont élevés, secs et modérément frais, plus le taux d'ensemencement doit être augmenté pour obtenir des stockings acceptables (Fleming et Mossa, 1995). On remarque que certains endroits pourraient aussi bénéficier d'un deuxième ensencement pendant la saison de croissance afin de recouvrir l'ensemble de la superficie et assurer une meilleure distribution des semis.



## **2.3 LES AUTRES ESPÈCES UTILISÉES POUR L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN**

D'autres espèces conifériennes peuvent et ont déjà été utilisées pour l'ensemencement aérien (Haig, Richardson, Fleming and Groot *in* Dominy and Wood, 1986). Pour le besoin de la cause, on va mentionner les espèces qui intéressent la présente étude de faisabilité.

### **2.3.1 ÉPINETTE NOIRE (PICEA MARIANA)**

L'épinette noire (EPN) a été ensemencée sur différents types de sol variant du sable fin au loam à texture grossière (Fleming et Mossa, 1995). Avant la coupe, ces sites étaient couverts d'une forêt mature d'épinettes noires ou d'un mélange d'épinettes noires et de pins gris. L'ensemble du territoire a été scarifié 1 an avant l'ensemencement aérien qui a été effectué durant les mois d'avril et mai l'année suivante. Des taux de 25 000, 50 000, 100 000 et 150 000 semences viables par hectare ont été appliqués sur des blocs expérimentaux mesurant entre 10 et 35 hectares chacun. Un semoir de type Brohm a été utilisé pour les opérations.

Les résultats démontrent que la préparation de terrain a joué un grand rôle dans le succès des ensemencements aériens. De plus, on a remarqué que des taux de 100 000 à 200 000 semences/ha, appliqués en deux fois, donnent des stockings adéquats sur les sites frais et modérément humides (Smith et al *in* Fleming and Mossa, 1995). Toutefois, malgré la préparation de terrain, les ensemencements effectués sur des sites secs et modérément frais ont échoué (Fleming et Mossa, 1995). Le choix du site devient donc primordial pour assurer le succès des programmes d'ensemencement aérien. Suite à ces constats, on a mis de l'avant que le pin gris devrait être favorisé sur les sites secs où l'épinette noire ne réussit pas à bien s'établir.

D'autres essais impliquant l'ensemencement d'épinette noire et d'épinette blanche ont été effectués en Ontario (Dominy et Wood, 1986). La période d'ensemencement s'est déroulée pendant les mois de juin et de juillet

pour les deux espèces (Dominy et Wood, 1986). C'est sur une parcelle d'argile sableuse très humide que des semences d'épinette noire ont été dispersées. À l'origine, ce site était recouvert d'un peuplement dominé par l'épinette noire (Fleming et Mossa, 1995). Après avoir été coupé à blanc, des opérations de scarifiage ont permis de dégager le sol et de créer des lits de germination pour les semences.

Les graines d'épinettes blanches ont été semées sur une pente argileuse ayant une exposition sud-est (Fleming and Mossa, 1995). Quelques peupliers faux-tremble et bouleaux à papier ont été laissés sur pied lors de la coupe qui a précédé l'ensemencement. Une préparation mécanique du terrain a permis d'ameublir les couches supérieures du sol et faciliter le développement des semis.

Ces deux espèces ont bien répondu aux programmes d'ensemencement (Fleming and Mossa, 1995). Il en ressort encore une fois que des stockings intéressants peuvent être obtenus avec l'épinette noire et l'épinette blanche à condition d'effectuer le choix du site en fonction des exigences des espèces désirées et de préparer les sites adéquatement.

### **2.3.2 LE PIN BLANC (PINUS STROBUS L.)**

Le pin blanc (PIB) est le plus grand des arbres croissant au Québec (Vézina et Roberge, 1981) : 24 à 30 m de hauteur et 50 à 75 cm de diamètre. C'est l'essence résineuse la plus recherchée pour le bois de sciage et le déroulage (grandes dimensions de ses fibres). Il faut se rappeler que la réputation mondiale du bois canadien a été faite principalement par les billes et les sciages de pin blanc et de pin rouge provenant du Québec occidental au 19<sup>e</sup> et début 20<sup>e</sup> siècle (Zoltowski, 1972).

### **Les semences du PIB**

Les exigences édaphiques du PIB ont été résumées dans le tableau 3 (p. 38). Un kilogramme de PIB contient, en moyenne, 58 300 graines (Pinto et al, 1997). Le taux potentiel de germination est estimé à 60% (Ministère des Ressources Naturelles, 1995). L'espèce connaît le phénomène des années semencières : une période de 3 années successives de stérilité une fois par décennie (Vézina et Roberge, 1981). C'est la raison pour laquelle ses semences sont souvent rares et chères à cette période.

### **La stratification du PIB**

Pour la régénération artificielle, les semences du pin blanc exigent une période de stratification de 60 jours à la température comprise entre 2° et 5 °C pour lever la dormance de l'embryon avant la germination (Creasy and Myland *in* Pinto et al, 1997).

### **Exemple d'ensemencement aérien du PIB**

Jusqu'ici la littérature paraît muette quant aux exemples d'ensemencement aérien du pin blanc. Des exemples négatifs des essais de semis direct du pin blanc sont mentionnés dans les États des Grands Lacs (Shirley, 1937).

### **2.3.3 L'ÉPINETTE BLANCHE (PICEA GLAUCA [MOENCH] VOSS)**

Naturellement, l'épinette blanche est distribuée sur toute la zone de la forêt commerciale au Québec (Cauboue et Malenfant, 1988). L'épinette blanche est recherchée pour son bois de sciage, de pâte et de déroulage (Vézina et Roberge, 1981). L'espèce prospère sur une large gamme des sols (Stiell, 1976).

Ce conifère fait partie du programme de reboisement dans chaque province du Canada sauf à Terre Neuve. En 1971, 51.6 millions d'épinettes blanches étaient plantées au Canada dont 14.5% au Québec (Stiell, 1976).

### **Traitements des semences**

Dans l'Ouest de l'Alberta, plus de 50% des semences d'épinette blanche ensemencées au printemps avaient été détruites par les mammifères pendant les trois premiers mois suivant l'ensemencement et ce malgré les traitements utilisés (Radvanyi, 1980). Le nombre de mammifères, en Alberta, qui se nourrissent de graines d'épinette blanche dans les coupes à blanc variait de 7/ha après une coupe effectuée au printemps à 144/ha cinq ans plus tard dans la végétation herbeuse qui avait envahi la station. Im et Paquet (1980) ont fait observer que plus de la moitié des graines sont perdues durant les trois semaines de l'automne après l'ensemencement naturel et avant la neige définitive.

L'utilisation de répulsif contre la prédation peut constituer un traitement efficace pour la protection des semences. Un répulsif au latex tel le graphite/

R-55 peut-être utilisé à cette fin. De plus, les semences d'épinette blanche enrobées avec du graphite/R-55 peuvent être entreposées pendant au moins deux ans sans réduction de leur vitalité.

### **Préparation du terrain**

Dans les pépinières, les planches de semis les plus propices à l'épinette blanche sont, dit-on, constituées de sol minéral, de sol et d'humus mélangés, et de bois pourri (Arnott, MacArthur et Demers; Eis; Horton et

Wang; Jarvis et coll.; Lees; Prochnau; Rowe; et Waldron *in* Stiell, 1976). Il est bon de rappeler que pour les ensemencements effectués dans les pépinières, on utilise des semences qui ont subi les mêmes traitements (entreposage, enrobage, expédition) que celles ensemencées par voie aérienne ou terrestres sur les parterres de coupe (Im et Paquet, 1980).

Pour l'ensemencement direct de l'épinette blanche, la préparation du site par l'exposition du sol minéral est d'une importance capitale (Eis *in* Putman et Zasada, 1986; Horton and Wang *in* Putman et Zasada, 1986; Waldron *in* Putman et Zasada, 1986; Zasada et Grigal *in* Putman et Zasada, 1986).

### **Exemples d'ensemencements aériens de l'EPB**

Plus haut dans cette section, nous avons dit que des ensemencements d'épinette noire et d'épinette blanche ont été effectués en Ontario.

D'autres expériences effectuées au Manitoba par Rowe (*in* Stiell, 1976) ont permis de conclure que la germination de l'épinette blanche est normalement à son maximum au début de l'été, mais qu'elle peut être retardée jusqu'à la fin de l'été sur les brûlis. L'ensemencement en fin d'automne ou en hiver profitera de la stratification naturelle, et en Alberta, une étude faite par Radvanyi (*in* Stiell, 1976) a révélé qu'il s'accompagnait de moins de dégâts par les rongeurs et produisait une meilleure germination que l'ensemencement en juin. Crossley (*in* Stiell, 1976) a observé qu'un ensemencement hivernal, en plaçant la graine dans la couche de neige, procurait une protection contre les rongeurs. En Ontario, l'ensemencement aérien s'effectue entre la mi-octobre et la mi-novembre, alors que les conditions de vol sont les meilleures (Scott *in* Stiell, 1976).

Les résultats obtenus par l'ensemencement aérien au Canada se sont révélés erratiques, la plupart des programmes concernant l'épinette blanche s'étant avérés des fiascos (Waldron *in* Stiell, 1976). Jusqu'à l'année 1972, environ

142 000 acres (57 000 ha) avaient étéensemencées d'épinette blanche, la plupart dans les provinces des Prairies, tandis qu'aujourd'hui les principaux efforts en ce sens ont lieu en Alberta (Hellum *in* Stiell, 1976; Waldron *in* Stiell, 1976).

Im et Paquet (1980) ont déjà fait remarquer que les faibles taux de réussite obtenus au cours des dernières années sur certains projets d'ensemencement aérien ou terrestre sont imputables, selon eux, à divers facteurs tels une mauvaise manipulation des graines sur le terrain, une préparation inadéquate des lits de germination, une absence de connaissances de l'impact des prédateurs sur la semence, etc.

En portant suffisamment d'attentions aux remarques d'Im et Paquet de façon à corriger ces erreurs expérimentales, il sera possible d'obtenir de bons résultats.

De toutes les façons, les économies réalisées par l'ensemencement aérien sur la plantation classique sont suffisantes pour condamner les forestiers à la recherche de la domestication des techniques de l'ensemencement aérien surtout en cette période des coupures budgétaires et de la consécration des concepts de la biodiversité et du développement durable. Évidemment, il faut ajouter à ces considérations monétaires, les contraintes environnementales de l'inaccessibilité et la fragilité de certains sites qui suggèrent le choix de l'ensemencement aérien.

## **2.4 LES SEMENCES : TRAITEMENT ET CONSERVATION**

Au Québec, le traitement des semences est une procédure que l'on observe surtout dans le domaine de l'agriculture (Adams, 1995). Plusieurs produits sont appliqués sur les semences afin de les protéger contre les rongeurs, les oiseaux et la moisissure. Du côté forestier, les idées de recouvrement ou de traitement des semences cherchent surtout à solutionner les problèmes rencontrés lors de l'épandage aérien dus notamment à la faible dimension de ces dernières.

### **2.4.1 L'ENROBAGE**

Lorsqu'il est question d'ensemencement par voie aérienne, la petite dimension des graines limite souvent l'efficacité des applications (Adams, 1995). Une couche inerte pourrait être appliquée sur les graines afin de les arrondir et de les grossir pour faciliter leur manipulation et augmenter la précision de l'épandage. On a toutefois remarqué que des délais de germination étaient directement reliés à l'épaisseur des couches appliquées. Aucune différence significative n'a cependant été observée à ce niveau lorsque le diamètre était égal ou inférieur à 2.25 mm.

Selon de la grosseur recherchée, des gaufrettes ou des comprimés pourraient être formés. Ceci permettrait d'empaqueter un nombre prédéterminé de semences dans un médium donné qui agirait non seulement comme porteur mais assurerait du même coup qu'un nombre suffisant de semences se rende au sol à un endroit donné pour assurer un bon stocking (Adams, 1995).

Au lieu d'une couche inerte, d'autres enrobages à base d'additifs pourraient être appliqués dans le but d'aider les semences à germer une fois au sol. Cette couche pourrait du même coup fournir une protection additionnelle aux semences et leur assurer les réserves nécessaires à leur développement initial.

Pour protéger les semences contre les champignons du sol responsable des maladies (fonte des semis par exemple) et de réduire la consommation de celles-ci par les prédateurs (oiseaux, rongeurs), l'enrobage des graines destinées à être ensemencées sur les parterres de coupe par voie aérienne ou terrestre a été pratiqué tant au Canada qu'aux États-Unis (Im et Paquet, 1980).

Selon les recherches de Fraser et Adams (1980), l'enrobage à base d'une formulation FMC a un effet adverse sur le taux de germination des graines de pin gris, d'épinette noire, d'épinette blanche et de pin rouge. Les produits tels que le Moran-Coat, FMC-encapsulation et le Asgrow Lite-Coat ne devraient donc pas être utilisés. Le même phénomène a été observé lorsque des poudres d'aluminium ont été utilisées sur des semences de sapin Douglas, d'épinette blanche, d'épinette de Sitka et de pin tordu latifolié et devraient par conséquent être proscrites (Sutherland et al, 1978).

Cependant, Adams (1997, communication personnelle) déconseille l'enrobage des semences d'épinette noire et du pin gris. Les mécanismes d'ensemencement aérien ne permettent pas encore une bonne manipulation des semences enrobées. Aucune forme de prétraitement des semences n'est encore vulgarisée pour accélérer la germination des semences. Il suggère de semer les graines dans les aires écologiques de leurs espèces.

#### **2.4.2 LES FONGICIDES ET L'ENTREPOSAGE DES SEMENCES**

Une fois le pourcentage de germination déterminé, les lots de semences sont entreposés dans la chambre froide, à une température variant de 2,8 à 5 °C (Im et Paquet, 1980). Pour l'entreposage, on utilise des contenants de polyéthylène qui peuvent loger jusqu'à treize (13) kg de semences. La semence ainsi entreposée peut être conservée pendant plusieurs années sans que le taux de germination soit affecté.



La capacité germinative des graines forestières traitées avec des fongicides diminue et cette réduction de la vitalité des graines est d'autant plus importante que leur entreposage sera long (Lamontagne *in* Im et Paquet, 1980). Une diminution importante de la germination commence toutefois à se remarquer après 2 mois d'entreposage (Im et Paquet, 1980; Jones *in* Im et Paquet, 1980).

Cependant, à la température de la pièce, soit 21 à 27 °C, la plupart des espèces peuvent être entreposées jusqu'à 20 jours pour des semences traitées par ARASAN-75 ou antraquinone-endrin (Jones *in* Im et Paquet, 1980).

Idéalement, des graines enrobées doivent être semées aussitôt après leur traitement (Im et Paquet, 1980). Étant donné les coûts élevés des semences (\$135/kg pour le pin gris et \$620/kg pour l'épinette noire), il serait plus logique que les responsables des projets prennent possession eux-mêmes de leurs semences à l'usine d'extraction, afin d'éliminer les pertes de temps et de fournir les soins appropriés aux graines lors du transport.

### **2.4.3 UN TRAITEMENT POUR ÉVITER LA PRÉDATION**

Dans les endroits où la prédation est importante, un enrobage contenant un répulsif contre les oiseaux et les rongeurs devrait être utilisé même si on peut s'attendre à une diminution du taux de germination. Sans traitement, la perte due aux petits animaux serait beaucoup plus grande et pourrait même compromettre les efforts d'ensemencement. Un répulsif à base de R-55/graphite et de latex a été testé sur des graines d'épinette blanche et offre une bonne protection contre la prédation sans toutefois trop retarder la germination (Radvanyi, 1975, 1977 et 1980).

### **2.4.4 LES TRAITEMENTS OSMOTIQUES**

Certains traitements osmotiques peuvent accroître le taux de germination des semences forestières surtout lorsque la germination doit se faire à

basses températures (Adams, 1995). En appliquant des solutions aérées de polyéthylène glycol sur des graines de pins, Hallgren (1989) a réussi à accélérer la vitesse de germination et, en l'absence de stratification, le taux de germination des semences. Le prétraitement des graines d'épinette noire (*Picea mariana* Mill B.S.P.) en présence d'agents osmotiques a accru la vigueur, la rapidité et, dans certains cas, l'uniformité de leur germination, spécialement aux basses températures (Fleming et Lister, 1984). Avec les meilleurs traitements, le temps nécessaire pour obtenir la germination de 50% des graines (T50) a été réduit de 14 à 10 jours. Après leur prétraitement, les graines peuvent être conservées à de basses températures (0.5 °C) et sous une faible humidité (6%) jusqu'à 56 jours et conserver la majeure partie des avantages du prétraitement. Toutefois, une conservation plus longue ou sous une température et une humidité plus élevées peut entraîner une perte de qualité des semences. Avec des traitements d'une durée de 2 à 6 jours, la quantité de protéines solubles, d'acides aminés et d'ATP présente chez les semences traitées est supérieure (Bourgeois et Malek, 1991).

Des semences d'épinettes noires ont aussi joui d'une germination accélérée et plus uniforme suivant un traitement osmotique à base d'eau aérée (Malek, 1992). Les traitements effectués avec une solution de polyéthylène glycol 8000 ont eu un effet moins prononcé que celui avec l'eau aérée tandis que ceux faits avec des solutions salines ont tué les graines (Malek, 1992).

#### **2.4.5 LA STRATIFICATION**

La stratification a pour but d'améliorer l'uniformité et la rapidité de la germination (Fowler and Dwight, 1964). La germination des lots des semences des conifères varie selon les espèces, les sites, les conditions et la durée d'entreposage, la qualité du lot des semences, les insectes et la stratification (Pinto et al, 1997). Pour la régénération artificielle, les aménagistes forestiers ont peu ou pas de contrôle sur la plupart de ces facteurs, excepté sur la stratification, à cause du fait que les lots des semences proviennent des agences spécialisées de la récolte de celles-ci.

Une stratification appropriée améliore significativement la germination (Schopmeyer *in* Pinto et al, 1997) et réduit drastiquement le coût de l'ensemencement artificiel. C'est pourquoi les aménagistes forestiers se doivent de suivre les méthodes de stratification qui ont été développées pour les conifères (Schopmeyer *in* Pinto et al, 1997; Creasy and Myland *in* Pinto et al, 1997).

Dans une expérience de stratification de plusieurs provenances de pin blanc, les meilleurs taux de germination ont été obtenus après 60 jours de traitement. La technique peut s'appliquer sur les semences enrobées (McLemore et Barnett *in* Fraser, 1970). Belcher (*in* Fraser, 1970) avait rapporté la nécessité de stratifier les graines enrobées du *Pinus taeda* L. pour avoir le maximum de germination. Par contre, Harrington (*in* Fraser, 1970) avait observé une réduction du taux de germination si des graines fraîches du pin de virginie avaient été stratifiées après enrobage et boulettage. Donc la technique de stratification possède des variantes selon les semences et les autres techniques de traitement des semences.

#### **2.4.6 LE TRANSPORT DES SEMENCES ET LEUR CONSERVATION**

Les semences forestières peuvent être entreposées dans des chambres froides à des températures variant de 2.8° à 5°C (Im et Paquet, 1980). On utilise des contenants de polyéthylène qui peuvent loger plusieurs kilogrammes de semences. Les semences ainsi entreposées peuvent être conservées pendant plusieurs années sans que le taux de germination soit affecté. Aucun traitement n'est cependant appliqué aux semences avant leur entreposage.

Le transport des semences doit se faire avec des camions réfrigérés. Les semences doivent être acheminées le plus rapidement possible sur les sites où l'on effectue les ensemencements aériens. Les semences devraient être expédiées dans des sacs de polyéthylène recouverts d'une poche de jute (Im et Paquet, 1980). Il faut aussi limiter le nombre de

manipulations à un minimum, surtout lorsque les semences ont été traitées et qu'elles sont prêtes à être ensemencées.

## **2.5 LES ÉQUIPEMENTS**

### **2.5.1 LES SEMOIRS**

Selon Paquet (1982) deux types de semoirs sont présentement utilisés pour les ensemencements aériens au Québec. Il y a le semoir Brohm qui a été développé en Ontario en 1962 et qui est utilisé depuis 1972 au Québec (Paquet, 1982). Il s'agit d'un semoir motorisé, dont les deux principales parties constituantes sont un enregistreur pour contrôler le débit des graines et une fronde pour assurer la dispersion des semences. Il s'installe sur un avion ou un hélicoptère. Le second semoir de type Stardust s'installe uniquement sur un avion et il a été utilisé pour la première fois au Québec en 1981. Il est non motorisé et la dispersion de la semence est assurée par le déplacement d'air (l'effet Venturi). Dans les régions plutôt éloignées où l'ensemencement aérien est envisagé, ce semoir présente un avantage non négligeable lorsqu'il est question de réparations ou d'ajustements sur le terrain.

Différents semoirs ont été utilisés pour effectuer des ensemencements par voie aérienne. Barnett et Chappell (1975) se servaient d'un semoir aérien à rangées multiples. Ce type de semoir permettait d'ensemencer une grande superficie dans un court laps de temps. De plus, il était conçu de manière à ne pas forcer les semences à pénétrer trop profondément dans le sol, leur donnant ainsi une meilleure chance de germer.

D'autres semoirs utilisés en agriculture ont été adaptés dans le but d'être utilisés lors des ensemencements aériens. On retrouve notamment le

Chadwick, construit en Californie, qui a été modifié pour pouvoir être installé sur un hélicoptère (Smith, 1984).

En somme, le semoir qui est utilisé le plus couramment c'est le Brohm. C'est lui qui offre les résultats les plus homogènes lorsque comparé aux autres énumérés précédemment. Des spécifications concernant le calibrage des différents semoirs peuvent être retrouvées dans l'article de Foreman et Riley publié en 1979 intitulé « Jack pine seed distribution using the Brohm Seeder/Piper PA-18A aircraft combination ». Des améliorations intéressantes peuvent être apportées aux différents types de semoirs en ce qui a trait au calibrage des appareils. Un système utilisant des infrarouges permettrait d'évaluer le volume de graines qui ont été dispersées ainsi que les réserves encore disponibles dans les semoirs.

### **2.5.2 LES AÉRONEFS**

Un article récent (Foreman, 1994) du Service canadien de la foresterie de l'Ontario, compare le choix d'un aéronef pour l'ensemencement aérien, soit en l'occurrence, un avion de type Piper PA-18A (Super Cub) ou un hélicoptère. Les conclusions déterminent que l'avion est l'aéronef de choix pour l'ensemencement aérien, principalement grâce à son économie d'essence, son rayon d'action et sa capacité d'opérer sur de courtes pistes d'atterrissage. L'hélicoptère peut avoir, dans certains cas, plus de manoeuvrabilité.

## **2.6 LOCALISATION ET SUIVI TRADITIONNEL DE L'ENSEMENCEMENT**

### **2.6.1 LOCALISATION SUR LE TERRAIN**

Les premiers ensemencements aériens ont été planifiés à partir de photographies aériennes des sites sélectionnés (Paquet, 1982). Des lignes de vol étaient tracées sur des cartes forestières en prenant bien soin de couvrir l'ensemble de la superficie et de désigner de points de repère facilement identifiables par le pilote. Plusieurs personnes étaient aussi réparties sur l'ensemble du territoire afin de guider le pilote dans ses démarches.

Aujourd'hui, les avancements technologiques ont fait en sorte que des systèmes à références spatiales (GPS) intégrés à même les avions peuvent fournir une assistance directe au pilote. Des données précises concernant la trajectoire suivie, le territoire survolé ainsi que la localisation des semences dispersées peuvent être enregistrées au fur et à mesure que les opérations ont lieu. Ces améliorations facilitent par la suite l'inventaire et le suivi des programmes d'ensemencement aérien.

### **2.6.2 L'INVENTAIRE ET LE SUIVI DES PROGRAMMES D'ENSEMENCEMENT**

L'inventaire des ensemencements aériens permet de contrôler le nombre de semences qui ont été dispersées sur une surface donnée et donne une bonne estimation des stockings pouvant être espérés (Paquet, 1982). Une technique a été développée qui utilise des pièges à semences fabriqués avec des moustiquaires et des cadres de bois (Cameron et Foreman, 1994). L'approche est relativement simple et les coûts qui lui sont rattachés sont faibles. Elle permet un degré de précision se rapprochant de 90 %. La dimension et la construction de ces dispositifs sont

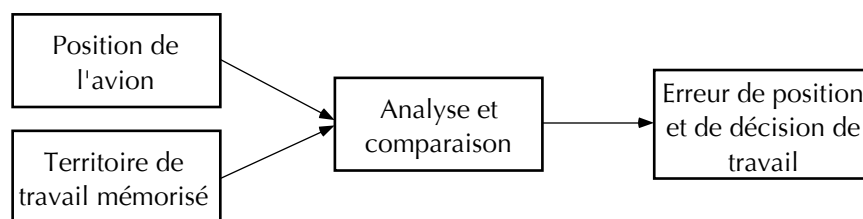
expliquées par Cameron et Foreman (1994). Il suffit de disposer les pièges avant l'ensemencement de façon à assurer un échantillonnage aléatoire (Adams et al *in* Cameron et Foreman, 1994). Rapidement après l'ensemencement, le décompte des semences tombées dans les pièges est effectué pour éviter de compter des semences qui pourraient s'ajouter suite à l'action du vent (Adams et al *in* Cameron et Foreman, 1994). Les résultats ainsi obtenus permettent d'évaluer la réussite de l'ensemencement et d'entreprendre un deuxième ensemencement si nécessaire.

Une saison de croissance ou deux après l'ensemencement, un inventaire du nombre de semis qui se sont développés viendra valider les données recueillies lors des ensemencements. On procède au dénombrement des semis de la même façon que lors d'un inventaire de reboisement effectué avec des plants.

## 2.7 LA GÉORÉFÉRENCE

La géoréférence consiste à déterminer l'endroit exact où l'on doit travailler ou non dans le contexte qui nous intéresse.

**FIGURE 1** — LE SCHÉMA DU CONCEPT DE LA GÉORÉFÉRENCE (CTA, 1997)



En bref, par satellites, GPS (Global Positioning System) est en train de révolutionner beaucoup de domaines liés à la navigation, à la localisation et au positionnement. Déjà, toutes les disciplines de géomatique - la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection, la cartographie et les systèmes d'information

à référence spatiale - profitent pleinement de cette nouvelle technologie. Les forestiers, par leurs fréquents besoins en référence spatiale, ont déjà trouvé dans le système GPS un outil puissant et abordable qui les seconde dans la saine gestion du territoire et de la ressource.

### **2.7.1 DESCRIPTION DES COMPOSANTES**

La position de l'avion obtenue à partir des équipements de navigation de l'avion est comparée aux données enregistrées au préalable. Ces données concernent la zone de travail et les trajectoires de vol et de largage (CTA, 1997).

Un ordinateur compare les sources d'information et affiche des données au pilote afin que celui-ci puisse prendre les décisions appropriées et appliquer les correctifs nécessaires.

#### **Le système de positionnement (CTA, 1997)**

Le système GPS comprend trois composantes principales : la composition spatiale constituée de 24 satellites sur orbites autour de la Terre, la composante de contrôle formée de stations de poursuite au sol et la composante usager qui comprend les récepteurs (CTA, 1997).

Les 24 satellites NAVSTAR (Navigation Satellite Timing And Ranging) sont répartis sur six plans orbitaux (quatre par plan) dont l'inclinaison est de 55° par rapport à l'équateur terrestre. Ils orbitent à une altitude de 20 000 km au-dessus de la surface terrestre (soit trois fois le rayon de la Terre), ce qui leur confère une période de révolution d'environ 12 heures. Cette altitude élevée permet à des utilisateurs très éloignés (plusieurs centaines de kilomètres) de capter simultanément les signaux des mêmes



satellites. Aux latitudes du Québec, un satellite passe, au maximum, 6 heures au-dessus de l'horizon local, entre son lever et son coucher.

Au minimum, 4 satellites (parfois même 12) sont toujours disponibles en tout point du globe, 24 heures par jour, indépendamment des conditions météorologiques.

Les stations de poursuite de la composante de contrôle ont pour principale fonction de calculer la trajectoire des satellites GPS. Au nombre de cinq, elles sont situées sur les îles d'Ascension (océan Atlantique), de Diego Garcia (océan Indien), de Kwajalein et d'Hawaï (océan Pacifique) ainsi qu'à Colorado Springs (station maîtresse). On les a équipées, entre autres, de récepteurs GPS stationnés sur des points géodésiques dont les coordonnées sont précisément connues. Les observations recueillies permettent de calculer la position des satellites sous forme d'éphémérides. Cette information est communiquée aux satellites et mise en mémoire dans leur ordinateur de bord, pour être par la suite rediffusée et transmise aux utilisateurs, par les signaux émis par les satellites eux-mêmes.

Enfin, la composante usager comprend les récepteurs utilisés pour se positionner. Ces récepteurs passifs ne font que recevoir les signaux transmis par les satellites GPS. Ils ont pour fonction de mesurer des distances entre l'antenne réceptrice et les satellites émetteurs, de décoder les messages radiodiffusés qui contiennent les éphémérides servant aux calculs de la position des satellites au temps d'observation, et de calculer la position de l'utilisateur. Plusieurs types de récepteurs offrent des fonctions de navigation et la possibilité de sauvegarder les coordonnées calculées et les observations. Il faut mentionner qu'il n'y a pas de frais inhérents à l'utilisation des signaux GPS (exception faite de l'achat ou de la location des récepteurs).

Pour les concepts de base, nous référons au document du CTA, section 2.1.1.2.

### **2.7.2 POTENTIEL D'UTILISATION (CTA, 1997)**

Le système GPS permet de calculer la position tridimensionnelle (latitude, longitude et altitude) d'un utilisateur, de manière continue et instantanée, en tout endroit de la Terre. Lorsqu'un récepteur GPS est mobile, sa vitesse et la direction de son mouvement peuvent également être déterminées. De plus, le système GPS fournit de l'information temporelle, i.e. : qu'un utilisateur peut associer un indicateur de temps à toutes les informations qui sont recueillies ou à tous les événements qui se produisent lors de levées terrain.

Conçu à l'origine pour des fins de navigation militaire, le système GPS a vite été utilisé pour des fins de localisation et de positionnement tant civiles que militaires. Le système GPS est une solution potentielle à presque toutes les applications nécessitant une référence spatiale (coordonnées) telles que la géodésie, la foresterie, l'hydrographie, la gestion de flottes de transport, la circulation aérienne, et bien d'autres encore.

### **2.7.3 PLANIFICATION DES LEVÉES, ÉQUIPEMENTS ET LOGICIELS GPS (CTA, 1997)**

Après l'identification des besoins et du choix de la méthodologie appropriée pour les combler, la prochaine étape consiste à mettre en place le dispositif d'observation. Cette étape comprend la planification des levées sur le terrain à l'aide de récepteurs mobiles et, optionnellement, de l'établissement de la station de référence (pour le positionnement relatif) et du lien de communication radio (pour le temps réel). La sélection des

récepteurs et des logiciels est un autre point clé à considérer pour assurer le succès des levées GPS.

La constellation actuelle des satellites GPS permet d'observer, en tout temps, lorsqu'il n'y a pas d'obstruction, un minimum de quatre satellites. Contrairement aux années précédentes, où la constellation était incomplète, la prévision des fenêtres d'observation journalière est maintenant moins cruciale. Par contre, pour des levées GPS prévues à proximité ou sous un couvert forestier, il peut être recommandable de choisir les périodes où un plus grand nombre de satellites sont disponibles au-dessus de l'horizontal local. Dans ces conditions, la probabilité de capter un nombre minimal de satellites avec une bonne géométrie est accrue.

Le planificateur a souvent recours aux cartes et aux photographies aériennes d'échelle et de précision diverses. Une attention particulière à la précision des documents de référence est de mise. Par exemple, si les lignes de référence pour le guidage de machinerie forestière à proximité des cours d'eau sont identifiées sur une carte dont la précision est de  $\pm 20$  m sur le terrain, le tracé sur le terrain en sera affecté, même si on utilise une technologie GPS dont le positionnement donne une précision de  $\pm 2$  m. Le même dilemme se pose lorsque les levées GPS sont superposées sur des cartes. Il pourra arriver que la superposition des contours effectuée par GPS s'adapte difficilement aux cartes de référence, en raison de l'imprécision de ces dernières.

Les principaux points à considérer lors de l'utilisation des récepteurs mobiles sont : la définition du mode d'enregistrement (en continu ou point par point), selon que l'on a à relever des objets ponctuels, linéaires ou surfaciques; le taux d'échantillonnage défini en fonction de la précision recherchée et de la vitesse de déplacement tout en tenant compte de la compatibilité avec la station de référence; l'emplacement de l'antenne (intégrée au récepteur, montée sur le toit d'un véhicule, dans un sac à dos, sur un casque protecteur ou sur un jalon télescopique); et

la définition et l'enregistrement des attributs à l'aide des collecteurs de données.

Pour le positionnement relatif, une station de référence doit être établie ou l'accès aux observations d'une station existante doit être prévu. La précision de la position de la station de référence doit être compatible avec la précision du positionnement relatif effectué en référence à cette station. Par exemple, si la position de la station de référence est erronée de 10 m, la position du récepteur mobile ne sera pas meilleure que 10 m.

Les méthodes pouvant être utilisées pour déterminer les coordonnées de la station de référence, classées en ordre de précision croissante, sont : le positionnement absolu avec des mesures de pseudodistance dont les observations sont cumulées sur plusieurs heures, le rattachement à un point géodésique en mode relatif avec des mesures de pseudodistance et le rattachement à un point géodésique en mode relatif avec des mesures de phase.

Le choix de l'emplacement de la station de référence doit tenir compte de la distance la séparant des levées terrain et des sources continues d'alimentation électrique et également de la sûreté de l'endroit puisque la station fonctionne la plupart du temps de manière autonome et sans surveillance. De plus, l'antenne doit être éloignée de toutes surfaces réfléchissantes pouvant provoquer des multitrajets.

Les principales fonctions de la station de référence sont : l'enregistrement des messages radiodiffusés par les satellites, l'enregistrement des observations (pseudodistance et/ou phase) de préférence de tous les satellites disponibles au-dessus de l'horizon local, la gestion des fichiers d'observation et la possibilité de transmission des termes correctifs en temps réel à l'aide d'un lien de communication radio.

#### **2.7.4 SYSTÈMES EXISTANTS (CTA, 1997)**

Les recherches bibliographiques nous ont permis de répertorier au Québec deux entreprises ayant un tel système.

Le système SOFTNAV de la société Filanda Canada inc. est un équipement portatif permettant une géoréférence complète avec un affichage graphique et à barre graphique, ainsi qu'un module de rétroaction (feed-back) permettant une analyse des trajectoires et des actions de pilotage lors de l'ensemencement.

Le système Air Star/SATLOC importé par la société « Les services aériens spécialisés » est un équipement ayant les mêmes caractéristiques que SOFTNAV à quelques différences près.

Il convient de vérifier si leurs produits sont approuvés par Transport Canada Aviation et s'il existe un STA (Supplement Type Approval) ou un LSTA (Limited STA).

## **2.8 UTILISATION POTENTIELLE D'UN SYSTÈME DE TÉLÉDÉTECTION POUR LA PLANIFICATION ET LE SUIVI DES ENSEMENCEMENTS AÉRIENS**

### **2.8.1 MESURES SOUHAITÉES**

Nous voulons évaluer le potentiel de la télédétection pour les missions d'ensemencement aérien.

Plus spécifiquement, nous tenterons de répondre aux questions suivantes :

- 】 Quelles sont les informations mesurables par télédétection?
- 】 Quel est le coût d'un système embarqué?
- 】 La télédétection peut-elle être utilisée avant les opérations d'ensemencement?

Nous évaluerons d'abord le potentiel de la télédétection pour la caractérisation des sols et de la végétation (surtout la forêt) puis nous

décrivons les instruments disponibles - radars, systèmes optiques visibles ou infrarouges - embarqués sur les satellites ou les avions. Finalement, nous proposons un système spécifique adapté au projet d'ensemencement aérien.

Une étude récente (Fleming et al,1995) du Service canadien de la foresterie de l'Ontario (Frontline : technical note no.46 et no.44) a rapporté des résultats d'ensemencement sur des sols sableux et argileux.

Cette étude a fait ressortir les points suivants :

- 】 Le site doit être bien préparé. En particulier, la présence de mauvaises herbes et de l'herbe diminue la réussite de l'opération (Technical note no.44).
- 】 Le taux d'ensemencement doit être optimal.

Ces articles font ressortir les questions auxquelles la télédétection devra répondre (CTA, 1997) :

- 】 Le sol est-il sableux ou argileux?
- 】 Peut-on mesurer le degré d'humidité du sol? (en temps réel ou quasi-réel puisque l'humidité varie rapidement)
- 】 Peut-on déterminer le pourcentage de sol libre avant l'ensemencement? (nombre de mauvaise herbes, roches, etc.)

La télédétection peut-elle réaliser ces fonctions, ou au moins une de ces fonctions? Si oui, quel est le coût du système envisagé?

## **2.8.2 COMPARAISON DES SYSTÈMES DISPONIBLES ET PROPOSITION**

Dans son rapport, M. Lewandowski (CTA, 1997) décrit et analyse les différents systèmes disponibles. Les sections suivantes résument son travail avec une rapide comparaison des différents systèmes disponibles, suivi d'une proposition susceptible de répondre aux objectifs initiaux du projet.

### **Comparaison**

- 】 **La caméra CCD visible-proche IR** peut caractériser le sol (type sableux ou argileux, type de couverture) mais mesure difficilement le degré d'humidité.
- 】 **Une caméra IR thermique** mesure la température de surface mais est plus onéreuse. L'information en température n'est pas directement reliée au type de sol et dépend un peu du degré d'humidité en surface.
- 】 **Un radar actif** mesure à la fois l'humidité et le type de sol (sable/argile). Les conditions d'opération d'un radar sont cependant plus exigeantes que pour les deux systèmes précédents.

À ce jour, la télédétection dresse des cartes d'humidité précises à environ 20 %.

**TABLEAU 2** — COMPARAISON DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE TÉLÉDÉTECTION

Domaine spectral	Visible/proche IR	IR thermique	Hyperfréquences actives
Instrument	CCD visible ou PIR	Caméra thermique	Radar
Type de sol	Oui	T de surface	Oui
Humidité	Oui (de surface)	T de surface	Oui (en profondeur)
Résolution spatiale	Bonne	Moyenne	Moyenne à faible
Coût	Faible	Moyen	Élevé

### **Système proposé**

#### **】 CAMÉRA**

Compte tenu de nos objectifs initiaux, le choix de la caméra CCD s'impose par son faible coût, la bonne résolution spatiale et le choix étendu de modèles disponibles (dimensions du CCD, noir et blanc ou couleur, focales des lentilles, résistance aux vibrations...).

Des caméra CCD dites *progressive scan* sont apparues sur le marché depuis 2 ans. Ces caméras peuvent enregistrer des scènes en mouvement sans obtenir le flou typique des caméras ordinaires. Ces caméras existent en couleur et coûtent aux alentours de 5 000 \$. Récemment, des essais de vidéographie à très basse altitude - entre 1 et 2 m - ont été réalisés afin de connaître l'état des récoltes et la santé de la végétation.

#### **】 ENREGISTREMENT OU TEMPS RÉEL?**

L'analyse des images en temps réel nécessite un ordinateur muni d'un frame-grabber embarqué sur l'avion : il est donc difficile de faire cette analyse en temps réel. Par contre, nous proposons l'enregistrement des images sur un magnétoscope S-VHS de façon continue pendant toute la



durée du vol. L'information donnée par le GPS serait également enregistrée sur la bande vidéo du magnétoscope. Un enregistreur S-VHS de bonne qualité coûte environ 1 200 \$.

## 】 NUMÉRISATION ET TRAITEMENT D'IMAGES

Une fois la mission terminée, ces bandes magnétiques sont numérisées par le frame-grabber. Le coût d'un frame-grabber dépend des images à traiter (couleur, noir et blanc, rapidité d'exécution, qualité de la numérisation) et varie entre 400 \$ et 1 500 \$. Par la suite, un logiciel de traitement d'images pourrait alors identifier et diagnostiquer les sols en question. Ces logiciels sont disponibles commercialement et sont connus des scientifiques travaillant en télédétection. Le coût d'un logiciel de base satisfaisant est d'environ 400 \$.

Grâce au système GPS, l'information serait intégrée aux SIG (Systèmes d'Information Géographique) afin d'obtenir un système d'aide à la décision en ensemencement aérien en quelques heures. Le développement des GPS est certes un atout favorable à cette intégration.

Des systèmes de transmission continue des niveaux des liquides et des produits secs promettent, au pilote, la possibilité d'évaluer continuellement pendant le vol, le niveau des graines dans le semoir (annexe 2). Ce qui permettra de bien contrôler, au fur et à mesure, le taux d'ensemencement voulu et de prévenir le pilote pour refaire le plein des semences.

Les coûts d'un système complet serait environ de 7 000 \$ à 8 000 \$, excluant l'ordinateur utilisé pour le frame-grabber et le traitement d'images.

En conclusion, même si la vidéographie aérienne appliquée aux sols en est encore à ses premiers stades, les résultats sont encourageants pour la cartographie et l'humidité des sols. Ces techniques peuvent être d'un apport primordial pour le projet d'ensemencement aérien.

### 3. LE PROJET D'ENSEMENCEMENT AÉRIEN

---

#### 3.1 INTRODUCTION

Les programmes d'ensemencement aérien offrent plusieurs avantages qui permettent de remplacer les méthodes de reboisement utilisées traditionnellement. Cette façon de reboiser est employée surtout dans les brûlis non régénérés dans les vieux bûchés de pin gris, dans les bûchés récents où la source de semences est inadéquate ou lorsque la scarification et l'épandage des cônes ont donné des mauvais résultats (Vézina, 1968). Notons principalement que les sites à sols minces ou difficilement accessibles peuvent être remis en production grâce à des ensemencements aériens bien planifiés. Les coûts associés à ces opérations sont nettement inférieurs à ceux du reboisement (O.I.F.Q., 1996).

Les grandes superficies peuvent aussi bénéficier des programmes d'ensemencement car le temps nécessaire pour l'épandage des semences est minime si on le compare à celui nécessaire pour effectuer un reboisement complet sans compter les coûts importants impliqués (O.I.F.Q., 1996).

Par ailleurs, l'ensemencement aérien permet de mélanger les essences utilisées. Sur une même superficie donnée, l'ensemencement permet d'accroître la richesse spécifique sans occasionner de démarches additionnelles.

Les opérations de scarifiage associées aux programmes d'ensemencement permettent aussi d'augmenter significativement le nombre de microsites disponibles pour la germination des semences et leur développement.

Finalement, l'ensemencement aérien a comme gros avantage d'être facile à mettre en application (O.I.F.Q., 1996). Suivant une planification minutieuse et un choix d'espèces judicieux, le nombre de tiges à l'hectare auquel on peut s'attendre sera élevé.

### **3.2 MAÎTRE D'OEUVRE**

Le maître d'œuvre est la compagnie Domtar en collaboration avec le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc (CERFO).

### **3.3 LOCALISATION DU TERRITOIRE**

Plusieurs sites ont été étudiés quant à leur réceptivité potentielle d'un ensemencement aérien. Le choix des sites s'est arrêté sur les secteurs du lac Écorce, de la baie serpent et sauterelle qui sont situés sur des aires communes allouées à Domtar au nord de l'Outaouais (Voir cartes et photos à l'annexe 1). Cette région, comme plusieurs autres qui ont été coupées, présente peu de régénération préétablie. Les sols minces rendent difficile la remise en production de ce territoire par le manque de microsites pour le reboisement classique. Un programme d'ensemencement aérien sera une option intéressante pour renouveler la ressource forestière et permettra de réintroduire des essences recherchées par l'industrie telles que le pin blanc, les épinettes blanche et noire. Nous insistons sur le fait que c'est la fragilité des sites choisis (tills minces, affleurement roche, etc.) qui rend le reboisement classique non recommandable et a, par voie de conséquence, imposé le choix de l'ensemencement aérien.

### **3.4 LA DESCRIPTION DES SITES**

La description détaillée des sites est faite dans le tableau 4. De façon générale, on retrouve à la baie serpent, les sites les plus humides et les pessières. Au lac Écorce, il s'agit d'un secteur de pin gris soit sur till très mince et sec et un secteur sur till et sable sec. C'est dans le secteur sauterelle que l'on retrouve une plus grande variété de peuplement sur les sols de till plus épais et plus riche que dans les autres secteurs.

### 3.5 CHOIX DES ESSENCES D'ENSEMENCEMENT

Tout au long de cette collecte de l'information, nous avons insisté à maintes reprises, sur l'importance capitale d'un bon choix des espèces dans le succès de toute opération de reboisement et surtout de l'ensemencement aérien.

Ainsi donc, quatre espèces résineuses ont été minutieusement choisies pour ce projet d'ensemencement aérien. Il s'agit du pin gris (*Pinus banksiana*), du pin blanc (*Pinus strobus* L.), de l'épinette noire (*Picea mariana*) et de l'épinette blanche (*Picea glauca*).

Ce choix a été dicté par :

- 】 l'examen des caractéristiques édaphiques présentes sur les sites sélectionnés et des exigences écologiques particulières de chaque espèce;
- 】 l'analyse des comportements historiques de ces espèces en ensemencement aérien et en semis direct;
- 】 la présence naturelle de certaines de ces espèces autour des sites;
- 】 la demande de l'industrie.

**TABEAU 3** — IMPORTANCE ÉCONOMIQUE (ET/OU ÉCOLOGIQUE) ET ÉCOLOGIES  
GÉNÉRALES DES ESSENCES CHOISIES

ESSENCE	DISTRIBUTION*	DÉPÔT-SOL*	DRAINAGE*	PHYSIOGRAPHIE -PENTE*	SOCIOLOGIE*
<b>Pin gris (PIG)</b>	Naturellement : dans toute la zone commerciale du Québec.	Sols sablonneux; tolère des sols pauvres; mais en terre agricole, il faut fertiliser avec du NPK.	Classes 2 et 3; tolère 1	Pente inférieure à 20%, voir même inférieure à 10%.	Plantation pure; prédomine en plantation mixte
<b>Épinette noire (EPN)</b>	Idem	Sol minéral assez profond (60cm); texture fine avec moins de 15cm d'humus.	2,3 4,5 selon les régions.	Éviter pentes abruptes, sites trop exposés et dépressions mal drainées.	Plantations pures mais éviter la compétition des essences indésirables aux jeunes plants.
<b>Pin blanc (PIB)</b>	Abondant dans la zone des forêts feuillues et mixtes.	Sols : sable loameux, sable fin et des loams sableux; il croit bien sur des tills minces, rocaillieux à texture de loam sableux ou de sable loameux et profond; ainsi que sur des dépôts fluvio- glaciaires sablonneux et profonds.	2 et tolère 1 et 3.	Très variable.	Plantations pures; peuplements mélangés voir mixtes; le conifère le plus tolérant à l'ombre au Québec.
<b>Épinette blanche (EPB)</b>	Toute la zone des forêts commerciales au Québec.	Toute texture sauf celles extrêmement fine et très grossières; sols fertiles; les potassium (K) et phosphore (P) ne doivent pas manquer.	Classes 2 et 3; tolère 4.	Espèce compagne.	

\* tirés de Cauboue et Malenfant (1988).

Le pin gris sera favorisé sur les sites couverts de sable et de gravier (O.I.F.Q., 1996). L'espèce prospère bien sur du terrain sablonneux bien drainé sans compétition avec les feuillus (Wilson et Quilkin *in* Lavallée, 1991). Plusieurs autres études ont clairement démontré ses capacités à s'établir sur les sites bien drainés souvent trop ardues pour les autres espèces (O.I.F.Q., 1996).

Une combinaison de pin gris et de pin blanc sera ensemencée sur des tills minces et des sols sablonneux. Tout porte à croire que le pin blanc pourra s'intégrer sur ces sites et reprendre la place qu'il occupait jadis.

L'épinette blanche sera elle aussi combinée au pin gris mais sur les tills épais, secs et riches. Cette espèce est bien adaptée pour ces conditions édaphiques et pourrait assurer une régénération adéquate.

Finalement, le pin gris sera combiné à l'épinette noire sur certains tills humides. Des mélanges de ces deux espèces permettraient de diversifier le peuplement et fournir, à long terme, une matière première recherchée par les usines.

### 3.6 LES SEMENCES

**TABLEAU 4 — SITES, TAUX D'ENSEMENCEMENT ET QUANTITÉ DES SEMENCES PAR ESSENCE**

polygone nouveau	ancienn	% appl	photos aérienne	terrain	dépôt, drainage, pente visité (si...)	carte	strate carto	essence prévue (taux/ha)			superf. (ha)			nombre total de graines			Commentaires		
								PG	PB	ETN	EPB	PG	PB	ETN	EPB	PG	PB	ETN	EPB
26	903					1a IV B	EPg B3 50	37000		79000		1.59	58330	0	125610	0		0	Baie Serpent
26	915	14%				7a V A	EE B3 50							0	0			0	
25	912	43%				1aR III B	PgE A3 50		37000	79000		24.77	0	916490	1956830	0		0	
25	914	29%				1aR III B	PeE B2 70			79000		0.51	0	18870	40290	0		0	
27	914					1aR III B	PeE B2 70		37000	79000		4.93	182410	0	389470	0		0	
30	927					1a IV B	EE A3 70	37000		79000				0	0			0	
30	901	33%				1a IV A	EE C2 90			79000		6.96	257520	0	549840	0		0	
24	903	50%				1a IV B	EPg B3 50	37000		79000		0.53	19610	0	41870	0		0	
24	893	17%						37000		79000		19.67	727790	0	1553930	0		0	
28	924		28		25	till humide (et sec)	EPg A3 70	37000		79000				0	0			0	
29	935	50%				1a IV B	PgPg B2 70			79000				0	0			0	
29	924	33%	28		till humide (et sec)	1a IV B	EPg A3 70	37000		79000				0	0			0	
29	940	8%	28		till humide (et sec)	1a IV B	EE A3 50							0	0			0	
29	934	8%	28		till humide (et sec)	1a IV A	EE C3 70							0	0			0	
31	924		28		till humide (et sec)	1a IV B	EPg A3 70	37000		79000		2.25	83250	0	177750	0		0	
33	940	33%	28		till humide (et sec)	1a IV B	EE A3 50	37000		79000		6	222000	0	474000	0		0	
33	924	33%	28		till humide (et sec)	1a IV B	EPg A3 70							0	0			0	
33	934	33%	28		till humide (et sec)	1a IV A	EE C3 70			79000				0	0			0	
34	940		28		till humide (et sec)	1a IV B	EE A3 50	37000		79000		6.26	231620	0	494540	0		0	
36	940		28		till humide (et sec)	1a IV B	EE A3 50	37000		79000		0.91	33670	0	71890	0		0	
35	940		28		till humide (et sec)	1a IV B	EE A3 50	37000		79000		1.85	68450	0	146150	0		0	
37	1151	50%				2be II B	EE B3 70	37000		79000		5.01	185370	0	395790	0		0	
37	1152	50%				1a III C	BbE C2 70							0	0			0	
53	1150	67%				2be II B	Bb C2 70	37000		79000		3.89	143930	0	307310	0		0	
54	1152	33%				2be II B	EE B3 70							0	0			0	
39	1167					1a III C	BbE C2 70	37000		79000		4.27	157990	0	337330	0		0	
41	1176					1a IV B	Bb C2 70	37000		79000		0.72	26640	0	56880	0		0	
38	1176					1a IV B	EE B3 70	37000		79000		1.4	51800	0	110600	0		0	
43	1176					1a IV B	EE B3 70	37000		79000		14.91	551670	0	1177890	0		0	
45	1176					1a IV B	EE B3 70	37000		79000		2.85	105450	0	225150	0		0	
48	1176					1a IV B	EE B3 70	37000		79000		4.36	161320	0	344440	0		0	
47	1176					1a IV B	EE B3 70	37000		79000		0.6	22200	0	47400	0		0	
49	1176					1a IV B	EE B3 70	37000		79000		3.21	118770	0	253590	0		0	
50	1176	60%	34	22 a 14	sableux humide	1a IV B	EE B3 70	37000		79000		4.28	158360	0	338120	0		0	
51	1202	40%	34	1a 14	till mince sec	1aR III B	EBb B2 10		37000	79000		9.73	0	360010	768670	0		0	
51	1176	40%	34		sableux humide	1a IV B	EE B3 70		37000	79000		6.28	0	232360	496120	0		0	
51	1202	60%	34		till mince sec	1aR III B	EBb B2 10							0	0			0	
46	1173					1a IV B	EE B2 70	37000		37000		3.65	135050	0	135050	0		0	
44	1173					1a IV B	EE B2 70	37000		37000		1.14	42180	0	42180	0		0	
40	1171		35	14 a 21	sable sec	2a II B	PgPg B2 70	37000	37000			20.13	744810	744810	0		0		
total												162.7	4490690	2272540	11058690	0		0	

polygone nouveau	ancien	% app	photos aérienne	terrain	dépôt, drainage, pente visité (si...)	carto	strate carto	essence prévue (taux/ha)			superf. (ha)	nombre total de graines				Commentaires
								PG	PB	EPN		PG	PB	EPN	EPB	
9	424		31	1 et 2	till très mince sec	R IIC	PgPg B3 50	37000	37000		1.12	41440	41440	0	0	
11	424		31		till très mince sec	R IIC	PgPg B3 50	37000	37000		1.11	41070	41070	0	0	Bark
12	424		31		till très mince sec	R IIC	PgPg B3 50	37000	37000		3.83	141710	141710	0	0	
16	424		31		till très mince sec	R IIC	PgPg B3 50	37000	37000		2.24	82880	82880	0	0	
20	424		31		till très mince sec	R IIC	PgPg B3 50	37000	37000		1.57	58090	58090	0	0	
23	442		31			2be II C	PgPg B3 70	37000	37000		3.66	135420	135420	0	0	
19	425	50%	31			R IIC	Bb A3 50	37000	37000		1.48	54760	54760	0	0	
19	434	50%	31			1aR III C	BbE A3 50									
14	433	20%	31			1aR III C	PgPg B3 70	37000	37000		7.93	293410	293410	0	0	
17	425		31			R IIC	Bb A3 50	37000	37000		2.42	89540	89540	0	0	
52	443	86%	31			1aR III C	PgPg B3 50	37000	37000		7.52	278240	278240	0	0	
52	432	14%	31			1aR III C	PgPg B3 50									
15	420		23sud	9	sable sec	2be II D	PgPg B2 70	37000			79000	1.6	59200	0	0	126400
22	418		23sud		sable sec	2be II C	PgPg A2 70	37000			79000	1.27	46990	0	0	100330
18	418	88%	23sud		sable sec	2be II C	PgPg A2 70	37000			79000	6.02	222740	0	0	475580
18	419	13%	23sud			1aR III C	BbPg B2 70							0	0	
21	418		23sud		sable sec	2be II C	PgPg A2 70	37000			79000	3.12	115440	0	0	246480
13	419		23sud			1aR III C	BbPg B2 70	37000			79000	0.24	8880	0	0	18960
3	411	50%	23	3 à 7	till et sable sec	2be II B	PgPg A2 70	37000			79000	16.2	599400	0	0	1279800
3	410	50%	23		till et sable sec	1aR III B	PgPg B2 70							0	0	
4	410	50%	23		till et sable sec	1aR III B	PgPg B2 70	37000			79000	8.87	328190	0	0	700730
4	414	50%	23		till et sable sec	1aR III B	BbPg C2 70							0	0	
2	407		23		till et sable sec	2be II C	PgPg A3 70	37000	37000					0	0	
8	418	56%	23		till et sable sec	2be II C	PgPg A2 70	37000	37000		8.49	314130	314130	0	0	
8	410	11%	23		till et sable sec	1aR III B	PgPg B2 70	37000	37000		16.14	597180	597180	0	0	
8	414	22%	23		till et sable sec	1aR III B	BbPg C2 70							0	0	
8	419	22%	23		till et sable sec	1aR III C	BbPg B2 70							0	0	
7	419	14%	23		till et sable sec	1aR III C	BbPg B2 70	37000	37000		3.63	134310	134310	0	0	
7	420	29%	23		till et sable sec	2be II D	PgPg B2 70							0	0	
7	418	29%	23		till et sable sec	2be II C	PgPg A2 70							0	0	
7	410	29%	23		till et sable sec	1aR III B	PgPg B2 70							0	0	
total											98.46	3643020	2262180	0	2948280	



polygone nouveau	ancien	% appl aérienne	photos	terrain	dépôt, drainage, pente visité (si...)	carto	strate carto	essence prévue (taux/ha)			superf. (ha)	nombre total de graines				Commentaires
								FG	PB	EPN		FG	PB	EPN	EPB	
2	248		2	10-11?		2be2B	ceEEC370	37000	37000		4.45	164650	164650	0	0	31K16NE
3	248		2	10-11?	till épais/sable sec	2be2B	ceEEC370	37000	37000		7.17	265290	265290	0	0	Sauterelle
3	250		2			R2C	eIFIC270						0	0	0	hétérogène
4	303		2			2be3A	EEB370	37000	37000		3.94	145780	145780	0	0	semble plus ré
4	319		2			2be3A	PeEB270						0	0	0	
7	319		3	12-13?	complexe	2be3A		37000	37000		0.65	24050	24050	0	0	(préliminaire)
7	319		3		sec/humide								0	0	0	
8	324		3		FG/till	R2C	EEB370	37000	37000		8.63	319310	319310	0	0	
8	323		3			R2C	BbEA350						0	0	0	
9	321		3			2be3A	EEC370	37000	37000		2.17	80290	80290	0	0	
9	322		3			1aR3C	PeRB270						0	0	0	
13	364		4			1aR3C	BBB270	37000			2.68	99160	99160	0	211720	
13	363		4			1aR3A	EEC370						0	0	0	
15	386		4	14 ?	till riche	5 AI		37000					0	0	0	
18	393		4			R2D	ERBJA3JIN	37000					0	0	0	
18	357		4			1aR3B	ceBBEB370						0	0	0	
18	405		4			1aR3B	ct						0	0	0	
17	359		4			1aR3C	EBB370	37000			4.2	155400	0	0	331800	
16	357		4			1aR3B	ceBBEB370	37000			3.56	131720	0	0	281240	
16	405		4			1aR3B	ct	37000					0	0	0	
12	359		4			1aR3C	EBB370	37000			10.27	379990	0	0	811330	
14	358		4			1aR3C	EEB370	37000			6	222000	0	0	474000	
14	356		4			1aR3C	FIRB3JIN						0	0	0	
14	405		4			1aR3B	ct						0	0	0	
10	270		3			1aR3B	EPgB370	37000	37000		1.49	55130	55130	0	0	
10	271		3			1a4A	FIEB270						0	0	0	
11	270		3			1aR3B	EPgB370	37000	37000		1.13	41810	41810	0	0	
11	252		3			5 AI						0	0	0	0	
6	269		3	12-13?	complexe	1aR3B	PeEB270	37000	37000		15.76	583120	583120	0	0	
6	270		3		sec/humide	1aR3B	EPgB370						0	0	0	
5	248		3		FG/till	2be2B	ceEEC370	37000	37000		10.39	384430	384430	0	0	
5	270		3			1aR3B	EPgB370						0	0	0	
5	268		3			1a3C	EEC370						0	0	0	
5	269		3			1aR3B	PeEB270						0	0	0	
total											91.95	3402150	2063860	0	2857430	
grand total	BARK										353.1	11535860	6598580	11058690	5805710	

### **3.6.1. LE TRAITEMENT DES SEMENCES**

Au niveau de la stratification des semences, l'entreposage en chambre froide des semences de la plupart des essences résineuses constitue en tant que tel, une stratification. De façon générale, un traitement supplémentaire de stratification n'est pas nécessaire pour lever la dormance des semences.

Les problèmes de prédation rencontrés dans l'ouest ne semblent pas être aussi problématiques au Québec. Bien qu'un fort taux de prédation d'automne a été remarqué par IM et Paquet (1980), il est possible d'éviter cette situation par un ensemencement printanier.

Pour ce qui est de l'utilisation de l'enrobage pour augmenter la dimension et le poids des semences, Adams 1997 (communication personnelle) déconseille l'enrobage des semences à cause des mécanismes d'ensemencement aérien utilisés qui ne permet pas encore une bonne manipulation des semences enrobées.

Dans le cas des semences d'épinette noire, afin d'accroître le taux de germination à basse température, un traitement de pression osmotique à base d'eau aérée pourrait être envisagé.

On n'envisage pas de traitement pour les semences de pin gris, de pin blanc et d'épinette blanche. Les effets produits par les traitements n'ont pas présenté de bénéfices significatifs qui justifieraient les coûts qui leur sont associés. À moins d'entrevoir des problèmes de prédation ou de sécheresse importants, aucun traitement ne devrait être appliqué à ces semences. Des bonnes conditions d'entreposage devraient assurer leur viabilité.

### **3.7. LA PRÉPARATION DU TERRAIN ET LA PÉRIODE D'ENSEMENCEMENT**

La littérature précédente a confirmé la primauté du scarifiage dans la préparation du terrain. Tous les sites devront être scarifiés avant l'épandage des semences. Le sol minéral doit être exposé sur un tiers de la surface ensemencée afin d'accroître le potentiel des lits de germination. On recommande d'effectuer le scarifiage à l'automne juste avant l'ensemencement. De cette façon, on évite l'envahissement des sites par des espèces plus compétitives.

Les ensemencements pourraient être effectués au début du printemps lorsqu'il reste encore une mince couche de neige. Les semences seraient en mesure de germer dès que les conditions climatiques leur deviendraient favorables. La fonte printanière permettrait aux semences de s'infiltrer dans le sol minéral nouvellement exposé et ainsi leur assurer un bon taux de germination.

Afin de maximiser les efforts déployés lors des ensemencements aériens, certaines conditions doivent être présentes. D'abord, la dispersion égale des semences sera assurée par l'utilisation du système de positionnement GPS et un vol à très basse altitude. Les semences suivront la trajectoire prévue selon l'effet Venturi créé par le type de semoir utilisé s'il y a peu ou pas de vent, de préférence tôt le matin ou le soir. Pour l'épandage plus tard dans la saison, il faut s'assurer que le taux d'humidité dans le sol est adéquat pour faciliter la germination des semences. Il faut éviter d'ensemencer lorsqu'il y a des périodes de sécheresse.

### **3.8 LE CHOIX DE L'ÉQUIPEMENT ET DU CONTRACTEUR**

Le choix d'un contractant s'est arrêté sur la compagnie Services aériens spécialisés (SAS) de Beloeil. Parmi ses secteurs d'activités, on retrouve l'épandage de phytocides, de fertilisants ainsi que des applications d'insecticides chimiques et biologiques. Les SAS ont aussi oeuvré dans le domaine de l'ensemencement aérien pour des compagnies telles que Donohue et Domtar.

Un semoir de type Stardust sera utilisé pour le programme d'ensemencement aérien. Ces caractéristiques particulières permettent d'effectuer un épandage sans l'utilisation d'un moteur. Le mécanisme étant plus simple, les réparations éventuelles pourront être faites directement sur les lieux de l'ensemencement.

### 3.9 COMPARAISON DES COÛTS D'OPÉRATION DE DEUX MODES DE RÉGÉNÉRATION ARTIFICIELLE

**TABLEAU 5** — TAUX À L'HECTARE : REBOISEMENT CLASSIQUE VS ENSEMENCEMENT AÉRIEN

Items	Reboisement classique	Ensemencement aérien	Remarques
Préparation du terrain	130\$/Ha	130\$/Ha	Coût minimal: avec scarificateur à disques (types TTS)
Semences	2.90\$/1000 graines X 4 X 2200 X 1.30 = 33.18\$/Ha	2.90\$/1000 graines X 37 000 graines/Ha X 1.30 = 139.49\$/Ha	Coût de production des semences de pin gris
Plants forestiers	130\$/1000 plants X 2200 plants = 286\$/Ha	-----	Coût minimal de production de plants forestiers: récipients 45-110, tunnels
Mise en terre	170\$/1000 plants X 2200 plants = 374\$/Ha	35\$/Ha	Coût minimal de la mise en terre :
Totaux	(130+33.18+286+374)\$/ Ha = 823.18\$/Ha	(130+139.49+35)\$ / Ha = 304.49\$/Ha	
Comparaison		304.49/823.18 = 37% du coût du reboisement classique	<b>Ensemencement aérien vaut 37% du coût du reboisement classique.</b>

#### **Note**

- Les coûts des travaux de préparation du terrain ainsi que de la mise en terre, ont été pris dans la Gazette officielle du Québec (26 mars 1997).
- Les coûts de production des semences ont été donnés par l'ingénieur forestier Luc Masse, responsable des semences forestières au Ministère des Ressources Naturelles. La même source autorisée a suggéré de multiplier les coûts des semences par un facteur de 1.30.

- *Les coûts de production des plants forestiers n'incluent pas ceux des semences et ont été donnés par l'ingénieur forestier François Trottier du ministère des Ressources Naturelles. La même source a donné la moyenne standard de 2200 plants forestiers à l'hectare.*
- *Il faut normalement 4 graines de pin gris pour une graine viable (Ministère des Ressources Naturelles du Québec, 1995).*
- *Les coûts de production considérés sont tous au minimum surtout pour le reboisement classique. Sinon pour des plants forestiers des résineux par exemple, les coûts de production pour 1000 plants, varient entre 130 et 325 \$. De ce fait le rapport des coûts totaux à l'hectare entre les deux modes de régénération artificielle peut être encore plus petit. Dans cet exercice pour 100 dollars du coût de reboisement classique, on réalise une économie de 63 dollars avec l'ensemencement aérien.*

### 3.10 LE CALENDRIER DES TRAVAUX

**TABLEAU 6** — LE CALENDRIER DES TRAVAUX

Commande des semences	Novembre 1997
Rencontre avec le contracteur	Novembre 1997
Planification et organisation	Avril 1998
Ensemencement	Avril-Mai 1998
Évaluation	Automne 1998

## CONCLUSION

---

L'Ontario a mis sur pied des programmes d'ensemencement aérien qui ont depuis longtemps fait leurs preuves en tant que solution économique et écologique aux problèmes de reboisement. Le Québec aurait tout avantage à s'engager dans la même voie car des résultats similaires pourraient facilement être obtenus dans nos conditions. En adaptant les méthodes d'ensemencement aux types de sol et aux exigences particulières des essences sélectionnées, un haut niveau de stocking peut être envisagé dans des peuplements présentant peu ou pas de régénération préétablie.

Le CERFO, le CTA et Domtar ont démontré la faisabilité d'un tel projet par ce travail. Ils ouvrent la voie pour un nouvel essor de l'ensemencement aérien dans le contexte du développement durable, de la biodiversité et le souci d'optimiser les coûts. Non seulement l'ensemencement aérien est possible, mais de nouvelles espèces peuvent être tentées avec des modalités particulières. Plusieurs autres applications pourraient être développées notamment pour régénérer des sites ayant été la proie des flammes ou ayant subi des épidémies importantes. La contribution du CTA au niveau des utilisations de la télédétection et du système GPS permet également d'entrevoir de nombreuses possibilités pour la planification et le suivi.

## RÉFÉRENCES

---

- ADAMS, M.J., 1995. Seed treatments have potential for direct seeding. Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ont. Technical Note No. 34. 4pp.
- BARNETT, J.P. and . CHAPPEL, T.W. 1975. Viability of seeds sown with an aerial multiple-row seeder. Tree Planters' Notes. 26:2, 1-2.
- BERGERON, Charles et PAQUET, Gaétan. 1982. Bilan des ensemencements aériens et terrestres réalisés par le M.E.R. sur les forêts publiques 1974 à 1980. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service pépinières et reboisement, Gouvernement du Québec, 66 p.
- BOURGEOIS, J. and MALEK, L. 1991. Metabolic changes related to the acceleration of jack pine germination by osmotic priming. Tree Physiology. 8 : 407-413.
- CAMERON, D.A. and FOREMAN, F.F..1994. Seed Trapping to Monitor Operational Aerial Seeding. Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ont. Frontline, Technical Note No. 43. 4 pp.
- CAYFORD, J.H., Z. Chrosciewicz and H.P. Sims, 1967. A review of silvicultural research in jack pine. Forestry branch, Departmental publication No. 1173, Canada Department of Forestry and Rural Development, 255 p.
- CENTRE TECHNOLOGIQUE EN AÉROSPATIALE (CTA), 1997. Projet PART - Ensemencement aérien. #97-CTA-044, St-Hubert, 113 p.
- CHROSCIEWICZ, Z. 1983. Jack pine regeneration following postcut burning and seeding in central Saskatchewan. Information Report. North For. Res. centre NOR-X-253. 11 p.
- CHROSCIEWICZ, Z. 1983. Jack pine regeneration following postcut burning and seeding in southeastern Manitoba. Information Report. North For. Res. centre NOR-X-252. 10 p.

- DOMINY, S.W.J., and J.E. Wood. 1986. Shelter Spot Seeding Trials with Jack Pine, Black Spruce and White Spruce In Northern Ontario. For. Chronicle. 62(5) : 446-450.
- FLEMING, R.L., and D.S. Mossa. 1995. Results of Aerial Seeding Black Spruce on Coarse-Textured Soils. Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ont. Technical Note No.46. 4 p.
- FLEMING, R.L. and LISTER, S.A. 1984. Stimulation of black spruce germination by osmotic priming : laboratory studies. Great Lakes forest center, Can. Forestry Service. Departement of the environment. Information report 0-x-362.
- FOREMAN, F. 1994. Aerial application of black spruce seed. Canadian Forest Service, Ontario, Technical note No. 42, 4pp.
- FOWLER, D.P. and Dwight, T.W. 1964. Provenance differenes in the stratification requirements of white pine. Can. J. Botany 42 : 669-675.
- FRASER, J.M., and M.J. Adams. 1980. The effect of pelleting and encapsulation on germination of some conifer seeds native to Ontario. Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ont. Report O-X-319. 17 p. + Appendices.
- FRISQUE, G. 1975. Ensemencement de pin gris: Résultats quinquennaux. Forestry Chronicle 51(2), 51-52.
- GAZETTE OFFICIELLE DU QUÉBEC, 27 mars 1997, 129<sup>e</sup> année, No.13
- GRABER, R.E. 1965. Germination of eastern white pine seed as influenced by stratification. U.S. For. Serv., Res. Paper NE-36, pp.9.
- HALLGREN, S.W. 1989. Effects of osmotic priming using aerated solutions of polyethylene glycol on germination of pine seeds. Ann. Sci. For. 46:31-37.



- IM, P.-C. et G. Paquet. 1980. La semence utilisée pour lesensemencements aériens et terrestres: précautions à prendre pour obtenir un rendement optimum. MER - Direction de l'aménagement. 13 pp.
- LAMONTAGNE, Y. 1973. Effets de l'enrobage et de l'entreposage sur la capacité germinative des graines de conifères. Naturaliste can. 100:253-256.
- LAMONTAGNE, Y. and B.S.P. Wang. 1976. Germination of polyram treated white spruce seeds from various provenances. Tree Planters' Notes. 27:1, 5-6.
- MALEK, L. 1992. Priming Black Spruce Seeds Accelerates Container Stocking in Techniculture Single-Seed Sowing System. Tree Planters' Notes. 43(1):11-13.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES. 1994. Ressource et industrie forestières. Portrait statistique édition 1994, 78 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES. 1996. Ressource et industrie forestières. Portrait statistique édition 1996, 92 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1996. Biodiversité du milieu forestier - Bilan et engagements du ministère des Ressources naturelles, Chapitre 5, 96 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1995. Petit manuel des semences forestières au Québec. 72 p.
- ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC, 1997. Manuel de foresterie. Les presses de l'Université Laval, Québec (Canada) 1428 pp.
- PAQUET, G. 1982. Normes d'ensemencement en milieu forestier. Cahier provisoire. MER - Service pépinières et reboisement.

PINTO ET AL, 1997. A Silviculture Guide for the Lakes-St. Lawrence Conifer Forest in Ontario. Southcentral Science and Technology unit, North Bay, Ontario, 500 p.

PUTMAN, W.E. and ZASADA, J.C., 1986. Direct seeding techniques to regenerate white spruce in interior Alaska. Can. J. For. Res. 16 : 660-664.

RADVANYI, A. Small mammals and regeneration of white spruce in western Alberta. Canadian Wildlife Service-Alberta. Information Report NOR-X-40. 21-23.

RADVANYI, A. 1975. Effect of storage on germination of R-55 repellent-treated seed of white spruce. For. Chronicle 51(1): 21-23.

RADVANYI, A. 1977. Effect of Four Years Storage on Germination of R-55 Repellent-Treated White Spruce Seeds. For. Chronicle 53(3):139-141.

RADVANYI, A. 1980. Germination of R-55 Repellent Treated and Non-Treated Seeds of White Spruce Following Prolonged Cold Storage. For. Chronicle April 60-62.

RILEY, L. F., 1980. The effect of seeding rate and seedbe availability on Jack Pine stocking and density northeastern Ontario. Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, Ont. Report O-X-318. 36 p. + Appendices. Services aériens spécialisés, Document de présentation, Beloeil, Québec, Canada.

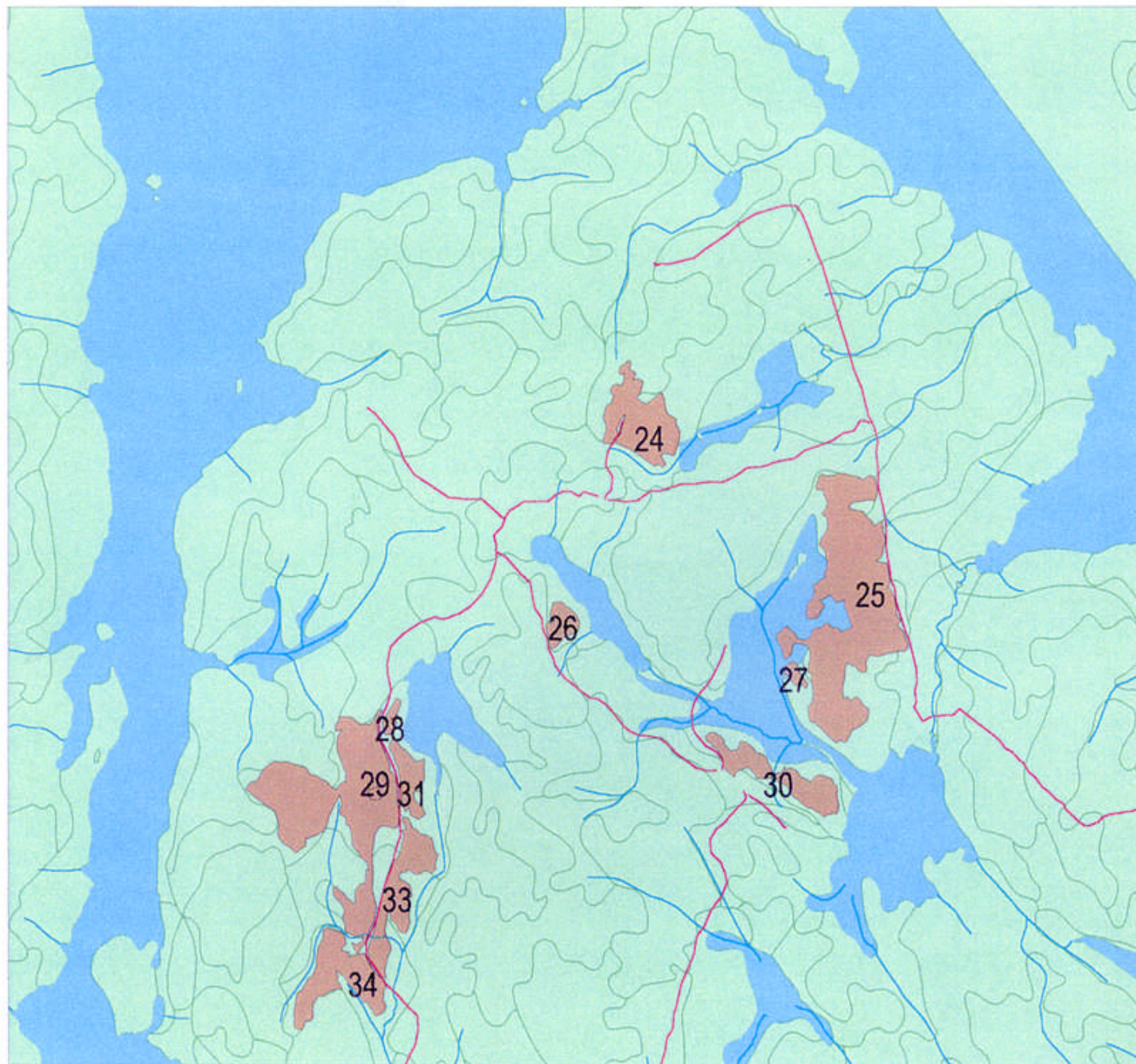
SHIRLEY, HARDY L., 1937. Direct seeding in the Lake States. J. Forestry 35 : 379-387.

SMITH, B.W., 1984. Aerial seeding requirements for jack pine regeneration. In Jack pine symposium at Timmins, Ontario. Great Lakes For. Res. Centre O-P-12, 78-86.

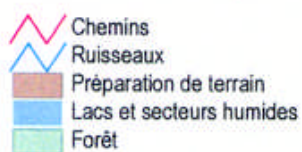
- STIELL, W.M., 1976. White spruce : artificial regeneration in Canada. Canadian Forestry Service. Forest Management Institute, Ottawa (Ontario), Canada. 275 pp.
- SUTHERLAND, J.R., T.A.D. Woods, W. Lock, M.R. Hamilton, and R.R. Braulin. 1978. Dusting seeds with aluminum powder. Tree Planters' Notes Summer.
- VÉZINA, PAUL-E. 1968. Les forêts de conifères. Notes de cours. Sylviculture appliquée. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 18-61 p
- VÉZINA, PAUL-E ET ROBERGE, MERCIER-R., 1981. Comment aménager nos forêts. Les Presses de l'Univeristé Laval (Québec), Canada. 273 pp.
- ZOLTOWSKI, GEORGES J., 1972. Enrichir les forêts par les Pins. Forêt-conservation, avril 1972. 9-10 p.

# **ANNEXE 1**

# Site d'étude pour L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN



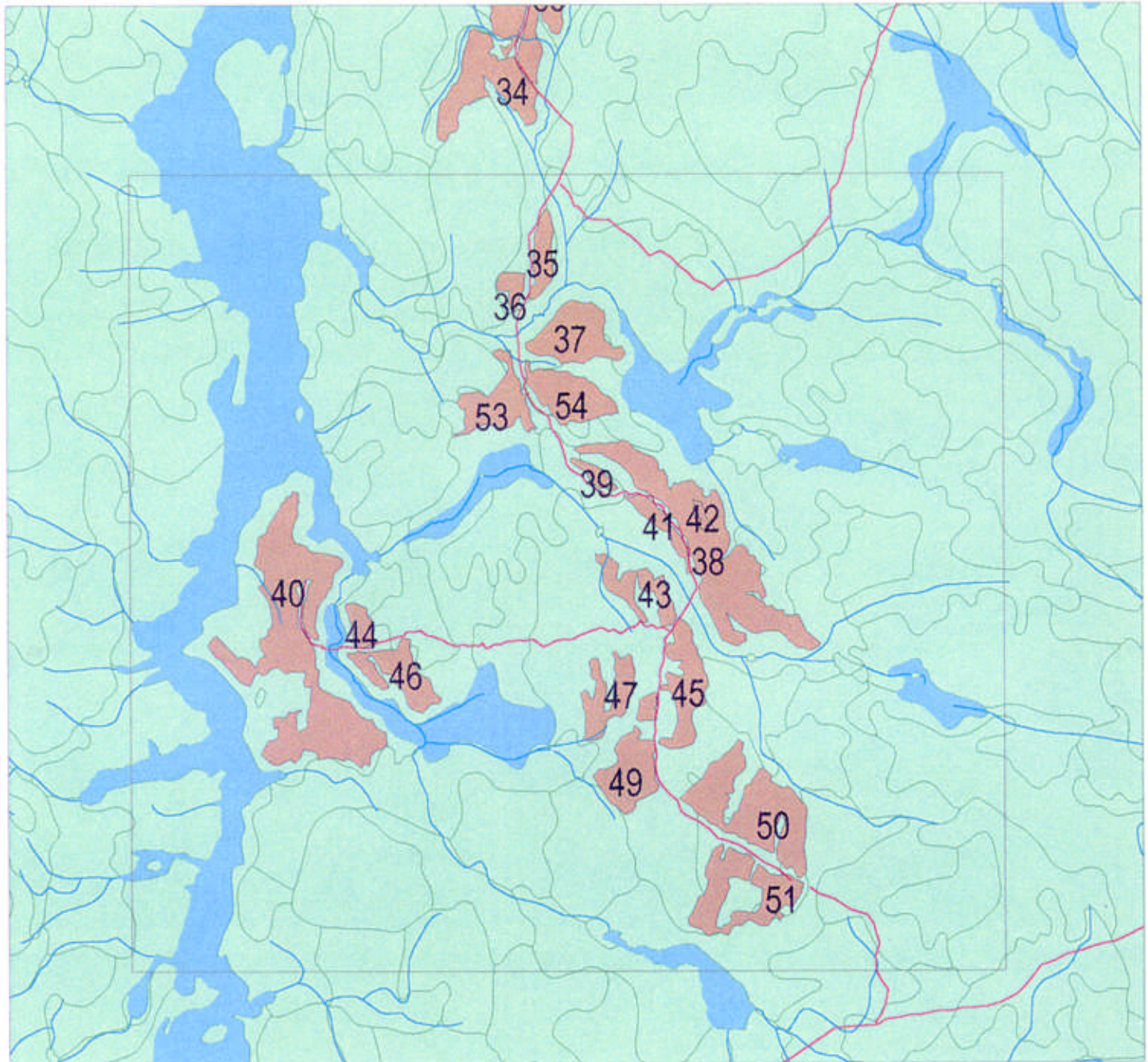
## Secteur Baie du Serpent partie 1



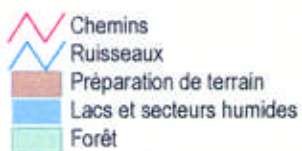
31N01SO



# Site d'étude pour L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN



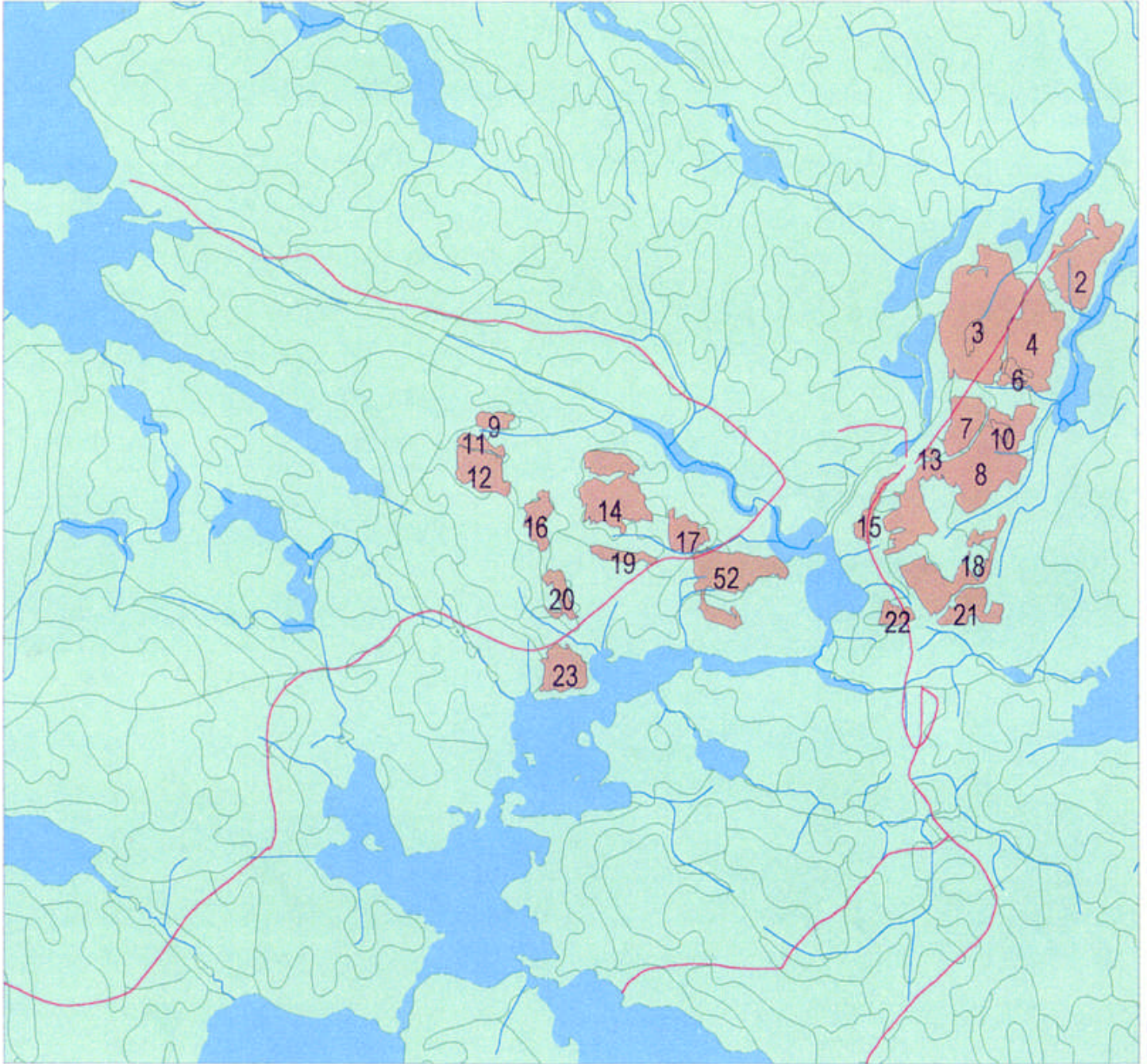
## Secteur Baie du Serpent partie 2








31N01SO



# Site d'étude pour L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN



## Secteur Lac de l'Écorce

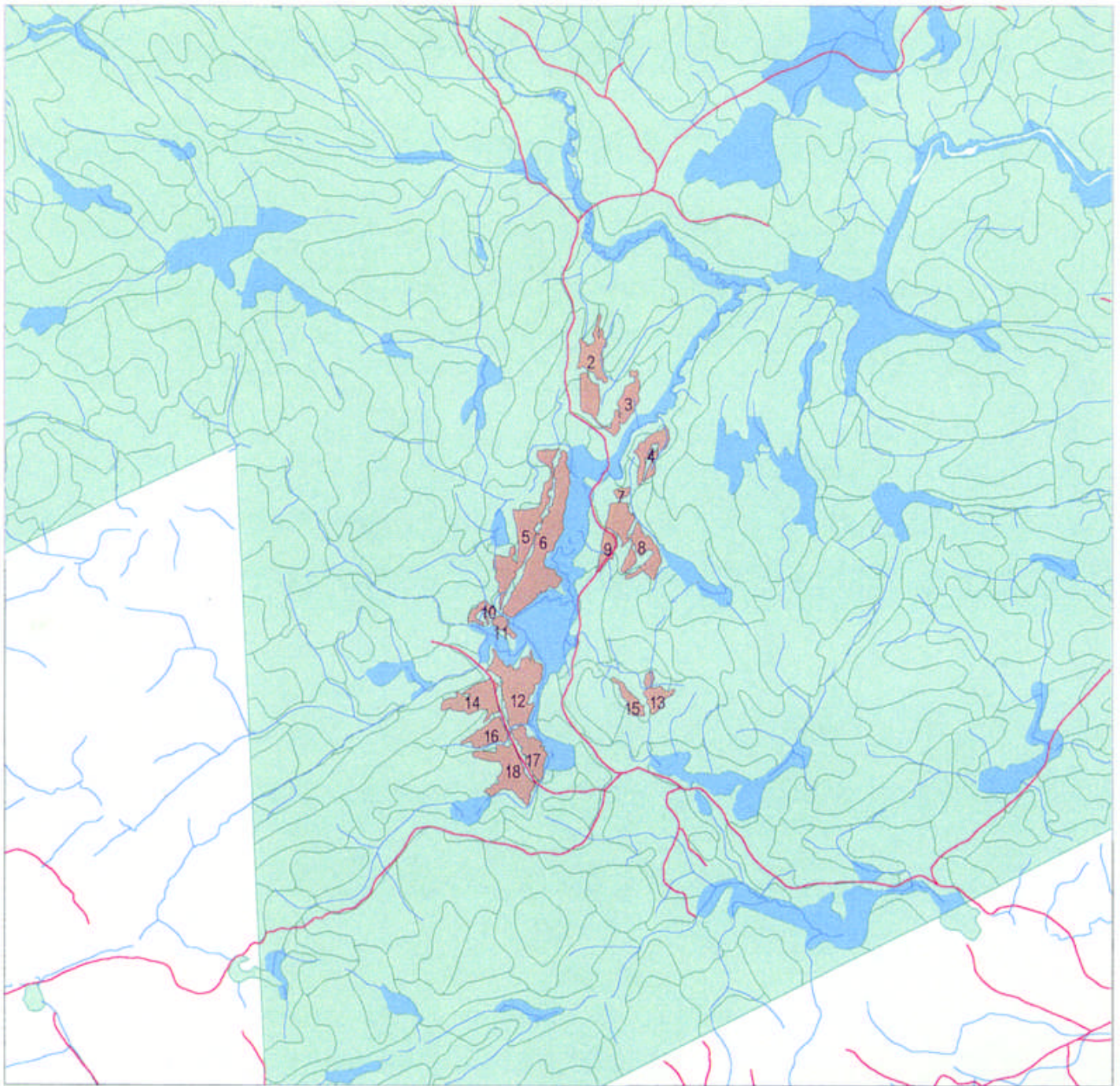
-  Chemins
-  Ruisseaux
-  Préparation de terrain
-  Lacs et secteurs humides
-  Forêt








31N01SO



# Site d'étude pour L'ENSEMENCEMENT AÉRIEN



## Secteur Sauterelle

-  Chemins
-  Ruisseaux
-  Préparation de terrain
-  Lacs et secteurs humides
-  Forêt



31K16NE





**PHOTO 1 & 2 :** Piste d'atterrissage du Domaine dans le Parc de la Vérendrye à quelques kilomètres de la zone d'ensemencement.







**PHOTO 3 & 4 :**

Préparation de terrain avec  
un scarificateur à disque  
(TTS). Exposition du sol  
minéral dans les sillons.







**PHOTO 5 & 6 :**

Dépôt de sable fluvio-glaciaire avec pinède grise à l'arrière plan.

Essences proposées: pin blanc et pin gris.  
(Secteur - Baie du serpent, polygone #40)







**PHOTO 7 & 8 :** Till humide avec pessière noire en arrière plan.  
 Essences proposées : pin gris, épinette noire.  
 (Secteur - Baie du serpent, polygone #35)







**PHOTO 9 & 10 :** Affleurement rocheux et till très mince avec pin blanc rémanents.  
 Essences proposées : pin gris, pin blanc.  
 (Secteur - Lac Écorce, polygone #14)





**PHOTO 11 & 12 :**

Utilisation de la  
régénération pré-établie  
pour valider le choix des  
essences à ensemercer.  
Dans les cas présents, pin  
gris et pin blanc sur sable.







**PHOTO 13 :** La scarification a contourné les zones déjà régénérées.

**PHOTO 14 :** La rugosité de certains secteurs a été contraignante pour la scarification.

**PHOTO 15 :** L'abandon des houppiers sur le parterre de coupe favorisera la germination d'une essence comme le pin gris.







**PHOTO 16 & 17 :** Certaines espèces comme le pin blanc et les bouleaux ont été laissés comme rémanents sur le parterre de coupe.





# **ANNEXE 2**

# LEVEL MEASUREMENT SYSTEMS

## Flow Reference Section

### INTRODUCTION

Level measurement is an integral part of process control, and may be used in a wide variety of industries. Level measurement may be divided into two categories, point level measurement and continuous level measurement. Point level sensors are used to mark a single discrete liquid height, a preset level condition. Generally, this type of sensor is used as a high alarm, to alert the existence of an overflow condition, or as a marker for a low alarm condition. The more sophisticated continuous level sensors can provide complete level monitoring of a system. A continuous level sensor, as the name implies, measures the fluid level within a measurement range, rather than a specific, single point. The continuous level sensor provides an analog output that directly correlates to the level within the containing vessel. This analog signal from the sensor may be directly linked to a visual indicator or to a process control loop, forming a level management system.

### FLOAT SWITCHES

The basic float switch is a simple point level sensor. A magnet-equipped float, which moves directly with the liquid surface, actuates a hermetically sealed switch within the stem. The rugged construction of the reed switch design provides long, trouble free service. The float switch is designed to provide high repeatability, due to minimizing the effects of shock, vibration and

pressure. Float switches can be used in a variety of media, as they are available with various materials of construction. Also, minimum maintenance is required, and installation is simple. The reed switch incorporated in a float switch is a hermetically sealed, magnetically actuated, make-and-break type. For various models, the switches may be either single pole-single throw (SPST), or single pole-double throw (SPDT).

### NON-CONTACT ULTRASONIC SENSORS

The non-contact ultrasonic level sensors consist of the following elements: sensor, analog signal processor, microprocessor, binary coded decimal (BCD) range switches, and an output driver circuit. The microprocessor

generates a series of transmit pulses and a transmit gate signal that are routed through the analog signal processor to the sensor. The sensor transmits an ultrasonic beam to the surface level, and the returned echo from the surface is detected by the sensor and routed to the microprocessor, which processes the signal into a digital representation of the distance between the sensor and the surface level. The microprocessor stores the distance value and by means of a moving average technique built into the software program, compares it to the value of others stored in memory. If the value does not correspond to prior signals or new signals being received, it is rejected. Incorporation of a moving average technique and a non-linear digital filter ensures rejection of spurious signals and noise. The microprocessor constantly updates and reviews the signals received, creating new averaged values which are indications of the actual fluid level in the tank.

### Continuous Sensors

For continuous sensors, the averaged value from the microprocessor is converted into an analog 4 to 20 mA signal which is linear with the liquid level. In an empty pipe or low level condition, when the echo from the level does not return to the sensor for more than 8 seconds, the output signal from the system drops below the minimum 4 mA.

### Point Sensors

When the averaged value from the microprocessor coincides with the BCD switch setting, the microcomputer energizes an output relay, for either high or low level indication. A momentary loss of signal from the sensor will not change the output status; the microprocessor's memory retains the last valid value. However, a signal loss for more than 8 seconds will cause the relays to de-energize and return to original state. A fixed half second time delay is incorporated into the electronics minimizing the effects of surface turbulence and agitation on the unit's output.

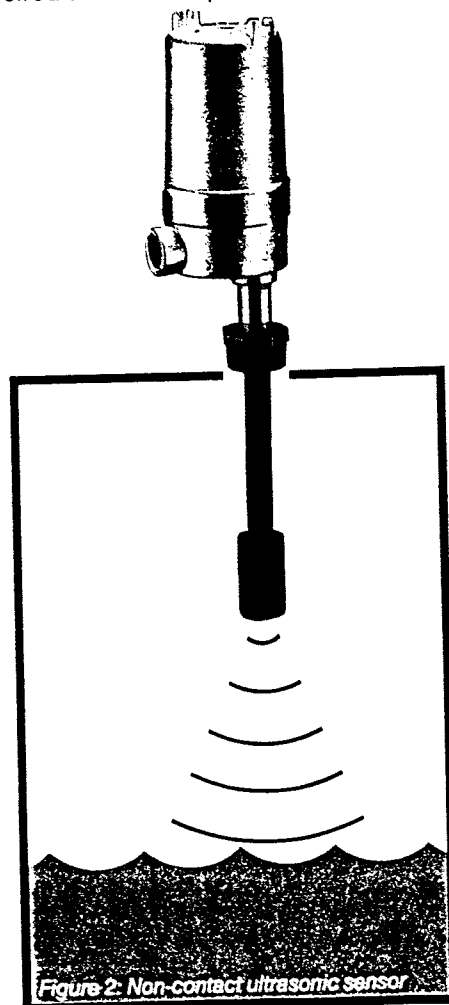


Figure 2: Non-contact ultrasonic sensor

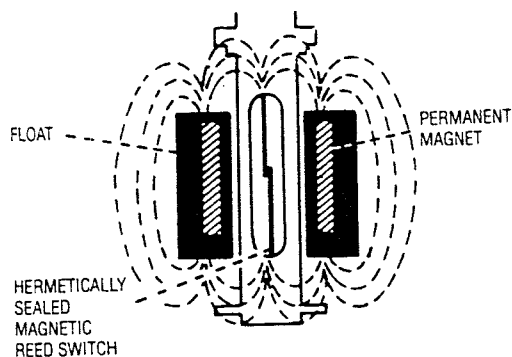
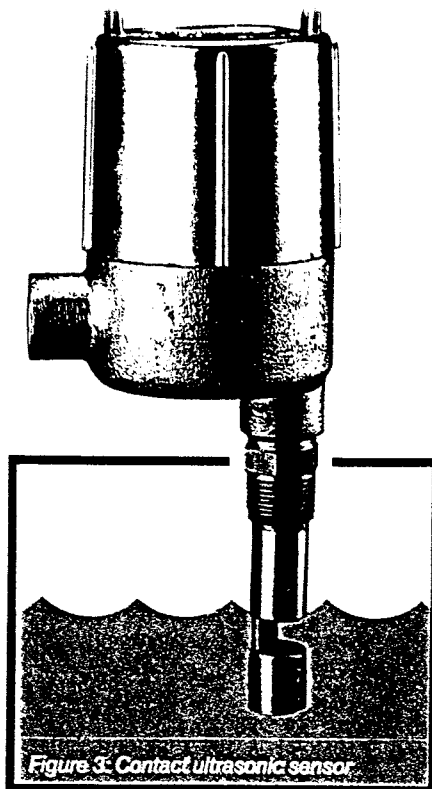


Figure 1: Reed-relay float switch

## CONTACT ULTRASONIC SENSORS

The contact ultrasonic liquid level switch detects and controls the level of liquids, at a point, by means of a low energy ultrasonic technique which uses no moving parts. A system consists of a field mounted sensor with an integral solid state amplifier. Terminal blocks are provided for connecting the system to a power source and to external control devices. No calibration or adjustment is required for automatic, trouble-free operation.

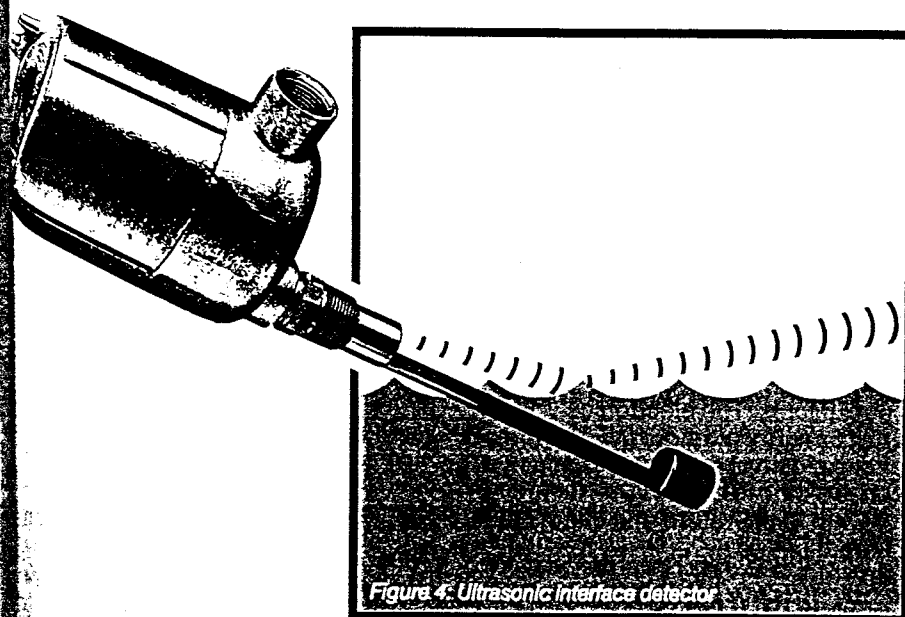
The sensor contains a  $\frac{1}{2}$ " gap across which an inaudible, high frequency ultrasonic signal is



or continuous level measurement. A probe inserted into the fluid tank senses the material level changes, and these changes are electronically conditioned into retrospective capacitive and resistive values, and are further processed and converted into an analog signal. The probe and the vessel wall form the two plates of a capacitor, with the liquid medium serving as the dielectric. The signal is generated only from true level changes, thus rejecting the unwanted effects of material built-up on the probe. Note that for a non-conductive fluid vessel, special systems utilizing either dual probes or an external conducting strip may be required.

The sensing probe may be constructed from different materials, with either a rigid or flexible design. The most common design is a conducting wire insulated with Teflon®. A stainless steel probe is also available for applications where greater probe sensitivity is necessary. For example, low dielectric or non-conductive fluids (dielectric constant under 4) or granular fluids require the stainless steel probe. The flexible probes are used when there is not enough overhead clearance for the rigid probe, or in applications requiring the longer length. The rigid probe provides higher stability, especially in turbulent systems. If the probe sways to and from the vessel wall, the signal from the probe may fluctuate.

CE



generated. When liquid is in the gap, the ultrasonic signal easily travels across the gap, and the control relay switches. The sensing level is approximately midway in the gap for horizontally mounted sensors, and is at the top face of the gap for vertically mounted sensors. As the liquid falls below this level, the ultrasonic signal is attenuated and the relay switches back to its previous state. This type of level switch can be used in vessels or pipes to automatically operate pumps, solenoid valves and/or audible or visual high or low alarms. Two units can control tank filling (or

emptying), or metering of a specific volume of liquid. The switch will perform satisfactorily in most liquids, and is unaffected by coatings, clinging droplets, foam or vapor. Liquids which are highly aerated, or so highly viscous as to cling in the sensor gap, however, may present operating difficulties.

## CAPACITANCE LEVEL SENSORS

This technology of level measurement, as with the ultrasonic sensor, may be used for either point

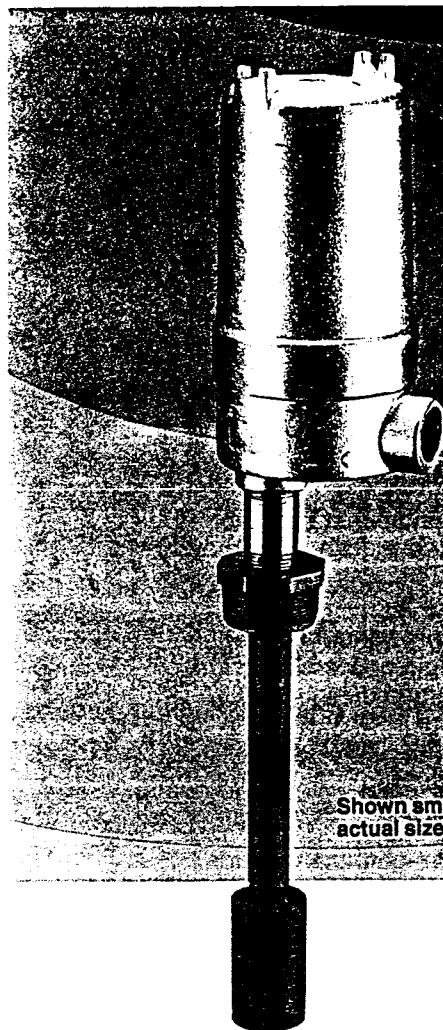
### Switch Ratings Max. Resistive Load

VA	Volts	Amps ac	Amps dc
10	0-50	.2	.13
	120	.08	.05
	240	.04	.02
20	0-30	.4	.3
	120	.17	.13
	240	.08	.06
50	0-50	0.5	0.5
	120	.4	.4
	240	.2	.2
100	120	.8	N.A.
	240	.4	N.A.

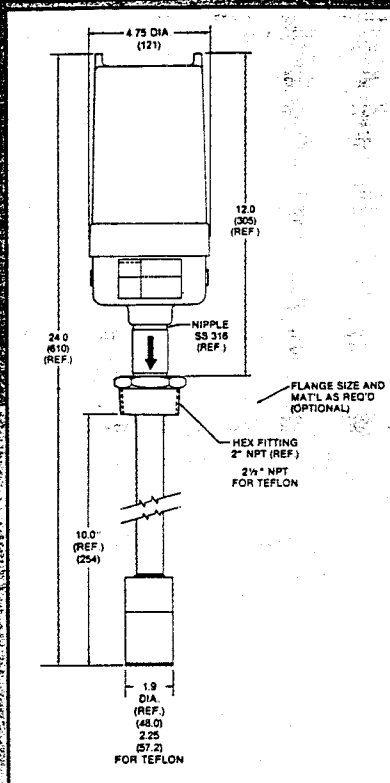
# CONTINUOUS LEVEL TRANSMITTERS

Non-Contact Ultrasonic Level Sensors

LV-200 Series



Shown smaller than actual size.



- ✓ Integral Electronics/Non-contact Sensor Design
- ✓ No Reference Targets Required for Calibration
- ✓ Explosion-Resistant/Water-tight Enclosure
- ✓ Lower Installed Cost—No Coax Cable Required
- ✓ Standard 115 Vdc Input Power/4 to 20 mA Output Signal
- ✓ Rugged Sensor Designs in CPVC or Kynar®
- ✓ Temperature Compensate

Units designed for liquids with vapor pressures equal to or less than water. For other applications consult Engineering

From

**\$1632**

The LV-200 is a non-contact continuous level transmitter system for liquid and dry product applications. The transmitter uses proven echo technology to measure levels accurately over a maximum range of 21 feet. To ensure accurate and repeatable readings, a built-in microprocessor uses BCD switches to set zero and span instead of requiring external targets. The LV-200 Series units are compact instruments that combine the sensor and electronics in one unit which

can be installed or removed without special tools. The electronics enclosure is watertight (NEMA-4) and explosion resistant. Sensor construction is of CPVC or Kynar® for wide temperature and chemical compatibility.

## SPECIFICATIONS

**Range:** 10" to 180" (0.25 to 4.6m) from sensor face. Near Zone-10" (0.25m) from sensor face. Minimum span- any 5 ft over full range of system. Lost Echo-no valid return echo for 8 s.

**Repeatability:** 1.25" typical

**Accuracy:** Analog output-1/2% of full scale

**Calibration:** By BCD switches, no targets needed

**Temperature Compensation:** Automatic over full range of sensor operating temperature.

**Operating Power:** 115 Vac standard; 24 Vdc or 230 Vac optional; less than watts power consumption.

**Output Signal:** 4 to 20 mA (isolated) in 0 to 1000 ohms

**Response Time:** Factory set fixed at 1 for analog output

**Enclosure Type:** NEMA-4 watertight explosion-resistant: Class I, Group C & D; Class II, Group E, F, & G; Class III, Divisions 1 and 2

**Temperature Range:** Sensor: -22°F to +160°F (-30°C to +71°C)  
Electronics: +10°F to +160°F (-12°C to +71°C)

**Sensor Pressure Rating:** -10 to 50 PS operating; 150 PSIG non-operating  
**Ultrasonic Frequency:** 50 kHz

**Beam angle:** Conical 12°(typical)

**Sensor Construction:** CPVC or Kynar

**Weight:** 9 lb (4.1 kg)

**Mounting:** 2" NPT

## How To Order HIGHLIGHTED MODELS STOCKED FOR FAST DELIVERY

Model Number	Price	Material	Output
LV-201	\$1632	CPVC	4 to 20 mA
LV-202	1656	Kynar®	4 to 20 mA

To order units with 24 Vdc power, add suffix -24V to model no. Add \$72 to price. To order units with 230 Vac power, add suffix -230V to model no. Add \$100 to price.

**Ordering Example:** LV-201-230V calls for a level transmitter with 4 to 20 mA output, CPVC construction and 230 Vac power. Price \$1632 + 100 = \$1732.

# DUAL-POINT LEVEL SWITCH

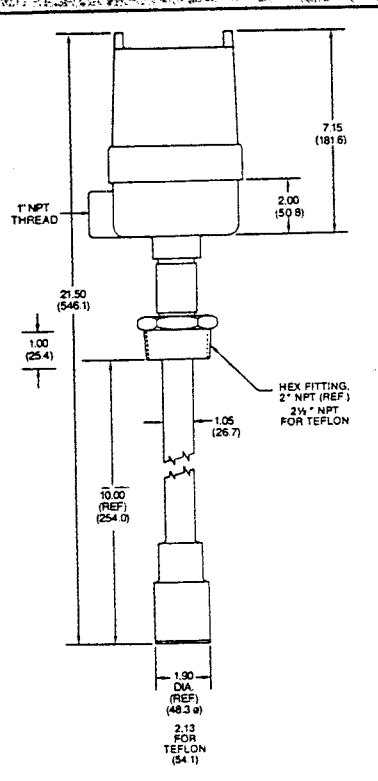
Non-Contact Ultrasonic Level Sensors

LV-220 Series

- ✓ Integral Electronics/Non-contact Sensor Design
- ✓ No Reference Targets Required for Calibration
- ✓ Microprocessor Control
- ✓ Rugged Sensor Design in CPVC or Kynar®
- ✓ Dual SPDT Relays for Hi/Lo Failsafe Indication

Units designed for liquids with vapor pressures equal to or less than water. For other applications consult Engineering.

From  
**\$1240**



The LV-220 Series switches are microprocessor controlled non-contact dual point level devices. They use ultrasonic echo technology to measure levels accurately from 10" to 255" from the sensor face (25.4cm to 648cm). To eliminate costly down time, a built-in microprocessor eliminates the use of calibration targets and permits measurements with a repeatability of 1/8" to 1/4". The LV-220 level switches are compact units combining sensor and electronics that can be installed or removed for service without special tools or instructions. Four operational modes are switch selectable: independent high and low alarm, automatic fill, automatic empty and high/low level failsafe. For a wide range of chemical compatibility, the sensor is available in CPVC, Kynar® or Teflon®.

## SPECIFICATIONS

**Range:** 10" to 180" (25.4 cm to 460 cm)  
**Repeatability:** 1.25" typical  
**Operation Modes:** Four switchable modes (only 2 relay outputs); Hi and Lo; Auto Empty/Auto Fill (can be set for both Hi and Lo); Hi level Failsafe  
**Ultrasonic Frequency:** 50 KHz  
**Beam Angle:** Conical 12°(typical)  
**Enclosure Type:** NEMA-4 watertight explosion-resistant: Class I, Group C & D; Class II, Group E, F, & G; Class III  
**Transducer Material:** CPVC or Kynar®. Up to 50 PSIG (3.52 kg/cm<sup>2</sup>) operating pressure  
**Temperature Range:** Sensor: -22°F to +158 F (-30°C to +70 °C)  
**Electronics:** +10°F to 158°F (-12°C to 70°C), (operating)  
**Weight:** 8 lb (3.6 kg)  
**Operating Power:** 115V, 50/60 Hz; 230 V, 50/60 Hz or 24 Vdc optional  
**Switch Contacts:** 2 SPDT Independent; 5 A at 24 Vdc; 3 A at 115 Vac; 2 A at 230 Vac (non-inductive load)  
**Power Consumption:** 2 to 5 watts  
**Mounting:** 2" NPT

**HIGHLIGHTED MODELS STOCKED FOR FAST DELIVERY**

**How to Order**

Model No.	Price	Sensor Construction
LV-221	\$1240	CPVC
LV-222	1366	Kynar®

To order units with 24 Vdc power, add suffix -24V to model no. Add \$72 to cost. To order units with 230 Vac power, add suffix -230V to model no. Add \$100 to cost.  
**Ordering Example:** LV-221-24V calls for a CPVC Type Level Switch with 24 Vdc Power. Price \$1240 + 72 = \$1312.

# NON-CONTACT ULTRASONIC LEVEL/DISTANCE TRANSMITTER Series LV400

**CARE**

**1 YEAR  
WARRANTY**

**MADE IN  
USA**

For Recorders and  
Dataloggers, See Pages  
J-41 Thru J-56.

**Sensor Construction**  
Diaphragm: 24K gold on kapton film  
Housing: nylon with stainless steel grille

**Remote Sensor  
"-RT" Option**

Shown smaller than  
actual size

The LV400 series displays and transmits the distance of objects located in front of the sensor in the open air in the range from 0.5 to 30 feet with an accuracy of up to 1% of reading. It is suitable for measuring liquid levels in tanks open to the air (0 psig internal), certain solid levels as well as other general distance measurements. All units feature a 4 digit LED display with 0.1 inch resolution. Available with alarm relays, analog outputs, RS-232 or RS-422 2-way computer communications, and a remote transducer. Setting the limits of the alarms and analog output can be performed manually by presenting targets at the desired setpoints or by entering the exact distance value (in inches) by computer communication. Alarm setpoints equal the analog output span.

Temperature compensation for variations in air temperature is done automatically by placing a reference target at an exact distance away from the sensor.

## SPECIFICATIONS

**Resolution:** 0.07" for analog, RS-232 and RS-422 outputs, 0.1" display

**Temp. Effect:** 1% shift in accuracy/very 18°F away from 68°F air temperature when not using the Auto Temperature Compensation

**Beamwidth:** 12 degrees; target should occupy one square ft/10 ft of distance for optimal performance.

**Range:** 0.5 to 30 feet

**Weight:** 11 oz.

**Dimensions:** 2.14" X 3.14" X 4.72"

**Output Cable:** 24" length

**Relay:** 25 AMP @ 120 Vac resistive, SPDT

**Analog Output:** 0-3Vdc, 0-10 Vdc, or 4-20 mA, 256 steps within setpoints 4-20 mA requires external 5-50 Vdc power supply. Max loop resistance = (supply voltage - 5) x 53. 1000 ohms for 24 Vdc supply. Standard output increases with increasing distance from sensor face.

**Power:** 7.5 to 12 Vdc @ 500 mA (LV404 accepts 12 Vdc ONLY!)

**Operating Temp:** -20°F to 160°F for sensor; 32°F to 158°F for electronics

**Relative Humidity:** 5% to 95% Non Condensing

## HIGHLIGHTED MODELS STOCKED FOR FAST DELIVERY To Order (Specify Model Number)

Model Number	Price	Description
LV401	\$329	Unit with high relay ONLY
LV402	399	Unit with high relay and 4-20 mA output
LV403	399	Unit with high relay and 0-3 Vdc output
LV404	399	Unit with high relay and 0-10 Vdc output

Add suffix "-RS232" or "-RS422" for communication option. Add \$140 to price. Add suffix "-R" for additional low relay output, and add \$39 to price. Add suffix "-RS" to reverse action of analog output (increasing output with decreasing distance from the sensor face), and add \$29 to price. Add suffix "-RT(\*)" for remote sensor, replacing asterisk with cable length in feet up to 40, and add \$109 for first 5'; and add \$1 per additional foot. To display height, reverse the distance display with option "-AZ0" and add \$29 to price. For extended range measurement, displays in feet (0.1 up to 60-ft range, add suffix "-ER" and add \$29 to price. **Ordering Example:** LV401-RT(5), calls for ultrasonic transmitter, with high relay and remote sensor with 5.0 ft cable.  
Price: \$329 + 109 = \$438.

# PUMP UP/PUMP DOWN LEVEL CONTROL

## NO HAZARDOUS MERCURY SWITCH REQUIRED

**1 YEAR**  
WARRANTY

From  
**\$32**

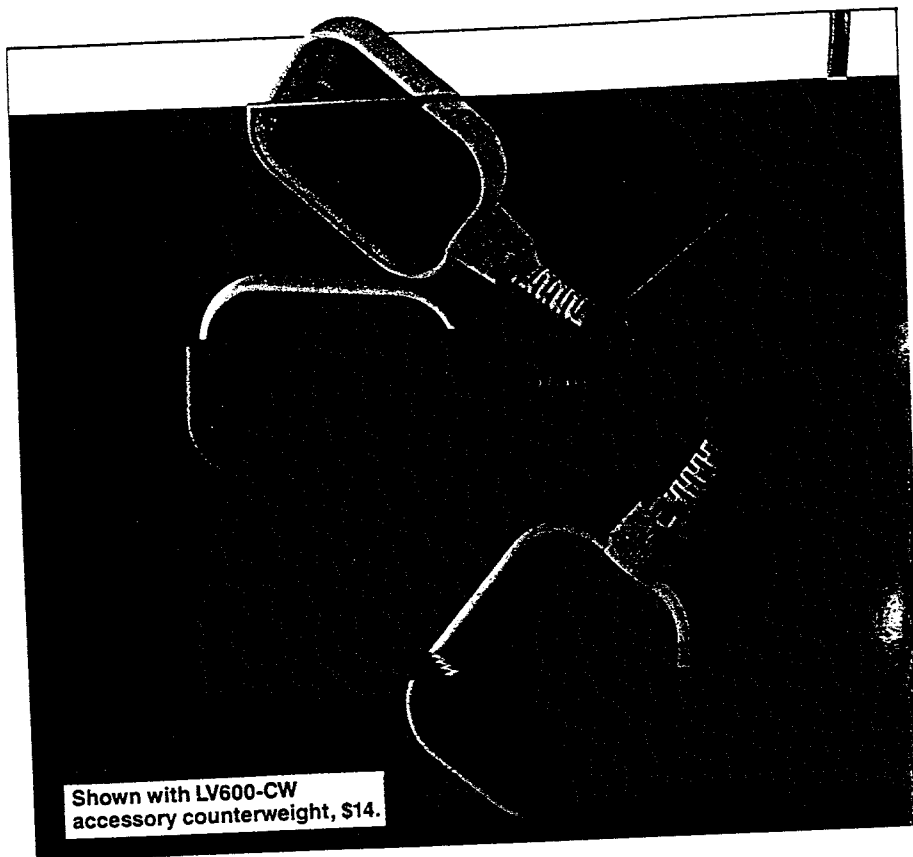
- ✓ Use One Switch for Differential or Hi/Lo Control
- ✓ Adjustable Level Differential from 6" to over 100'
- ✓ Case and Cable Hermetically Sealed by Plastic Injection Molding
- ✓ Circular and Rectangular Designs

The LV600 Series unique float level switches provide an economical means of pump-up/pump-down level control with just one level switch. The ON/OFF differential is set by adjusting the length of cable over which the LV600 is allowed to float. Depending on whether the LV600 is floating with the cable UP or DOWN (see drawing), the 15 amp relay is on or off. The relay changes state when the LV600 is above or below the fixed point by 80% of the cable length. For example, if the cable is fixed for 10' (3 m) of free cable, the LV600 will trigger at 8' (2.5 m) above and below the fixed point. Thus, turbulence will generally not cause false switching.

The cable can be fixed to a pipe, or the accessory counterweight can be used by slipping it over the cable (see drawing). The mechanical switch has no potentially dangerous mercury, is rated for 15A at 250 Vac, and can switch more than 100,000 times. The internal microswitch relay features UL and CSA approvals. The case and cable are hermetically sealed by a two-step plastic injection molding process to insure a leak-tight seal.

### Caution:

Level switches are manufactured to the highest quality specifications. However, due to their economical construction, they should be used only for applications where, in the event of product failure, the risk of damage to equipment or personnel would be minimized. In the case of level switches, one or two back-up switches should also be used to insure that failure of any one switch will be mitigated by the back-up level switches. User should periodically inspect the product's performance in the actual application. Use of the products beyond the recommended capabilities and lifespan are specifically not recommended.



### SPECIFICATIONS

Minimum Fluid Specific Gravity: 0.62 for LV610; 0.72 for LV620

Min/Max Level Differential: Approximately 6" (152 mm) to many feet, depending on cable length.

Operating Temperatures: PVC Cable:

-13 to +158°F (-25 to +70°C); Neoprene Cable: -13 to +176°F (-25 to +80°C)

Operating Pressure: 75 PSIG at 70°F. Pressure rating decreases with increasing temperature.

Wetted Surfaces: polypropylene body and PVC or Neoprene cable

OMEGACARE™ Extended Warranty Plan: not available for this product.

### To Order (Specify Model Number)

Model No. PVC Cable	Price	Model No. Neoprene Cable	Price	Weight lb (kg)	Cable Length ft (m)
<b>Rectangular Design</b>					
LV611-P	\$32	LV611-N	\$33	0.5 (0.23)	1.5' (0.46)
LV612-P	44	LV612-N	57	1.4 (0.64)	15' (4.5)
LV613-P	73	LV613-N	111	3.4 (1.55)	45' (13.7)
LV614-P	88	LV614-N	138	4.4 (2.00)	60' (18.3)
<b>Circular Design</b>					
LV621-P	37	LV621-N	39	0.75 (0.34)	1.5' (0.46)
LV622-P	50	LV622-N	63	1.65 (0.75)	15' (4.5)
LV623-P	80	LV623-N	117	3.65 (1.66)	45' (13.7)
LV624-P	94	LV624-N	144	4.65 (2.1)	60' (18.3)

Each level control comes with a complete operator's manual.

Ordering Example: LV621-P level control with 1.5' (0.46 m) PVC cable, plus LV600-CW counterweight: \$37 + 14 = \$51.

### Accessory Counterweight

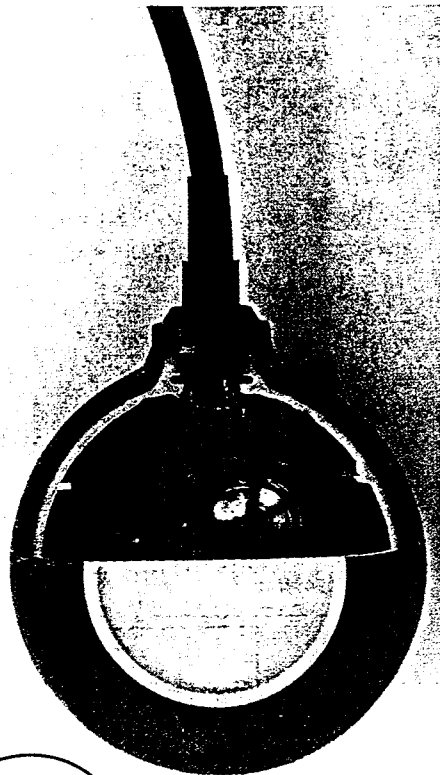
Model No.	Price	Weight lb (kg)
LV600-CW	\$14	0.5 (0.23)

**U.S. AND CANADA**  
 for placing  
 orders, call: **1-800-82-66342™**  
**1-800-TC-OMEGA**

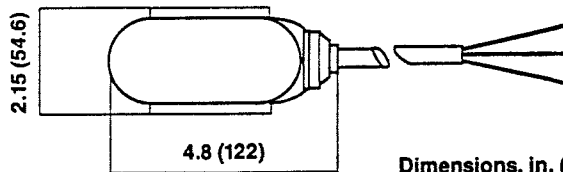
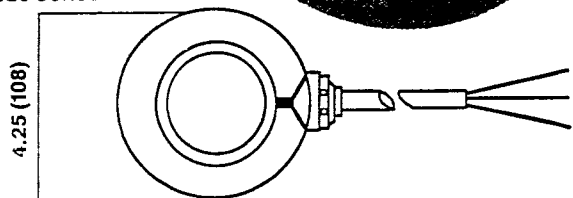
**NEW!**

LV620 Series

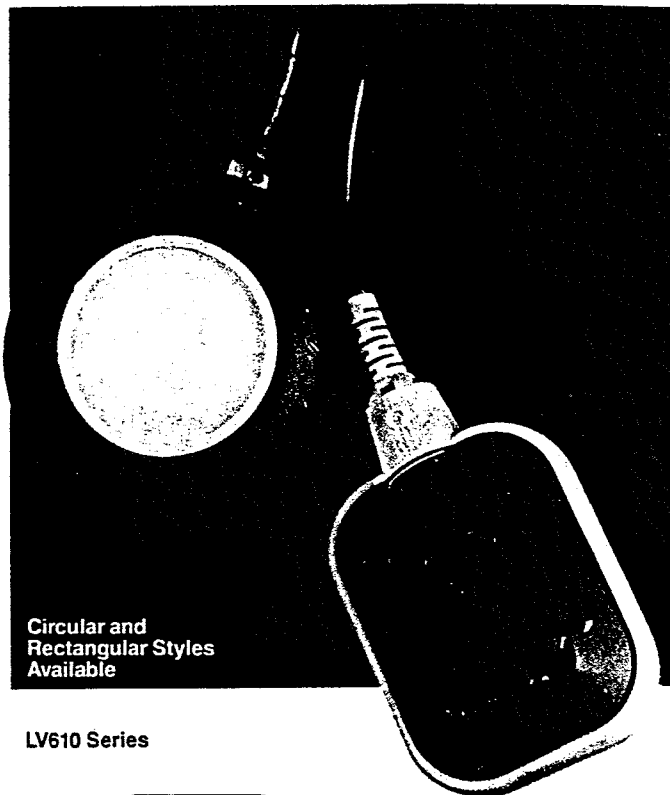
Shown Smaller  
 Than Actual Size



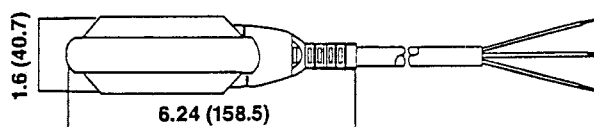
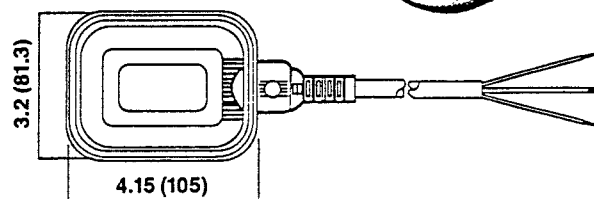
LV620 Series



Dimensions, in. (mm)

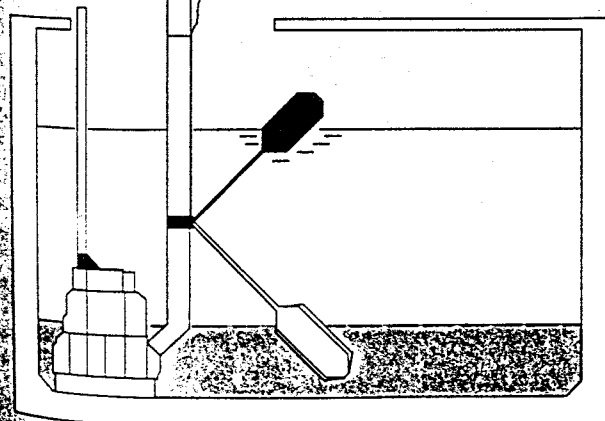


LV610 Series

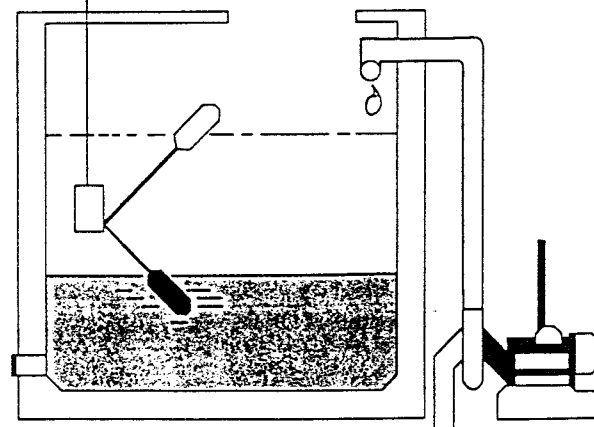


Dimensions, in. (mm)

Float Switch Tethered to Discharge Pipe



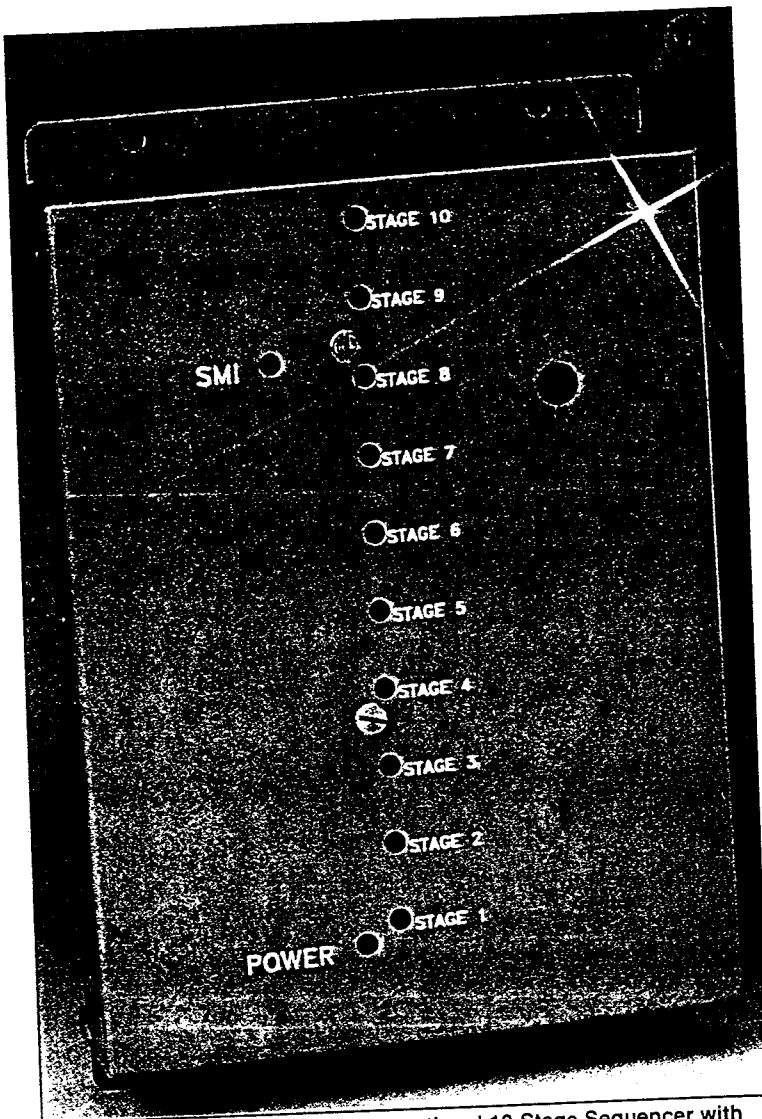
Float Switch with Cable Weight





# MICROPROCESSOR BASED SEQUENCER

## Model SEQ1



Model SEQ1 is a Progressive, Proportional 10-Stage Sequencer with 4 to 20 mA Input, \$462.

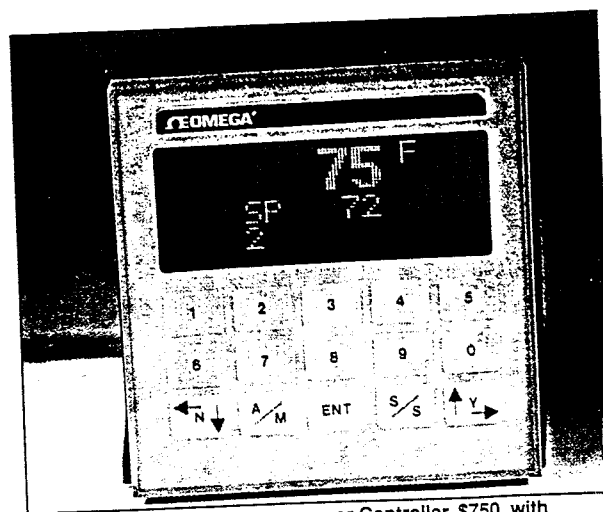
All Models  
**\$462**

- ✓ Up to 20 Stages of Control
- ✓ Proportional Control, Progressive Switching
- ✓ 4 to 20 mA Input
- ✓ UL Recognized
- ✓ High Ambient Rating

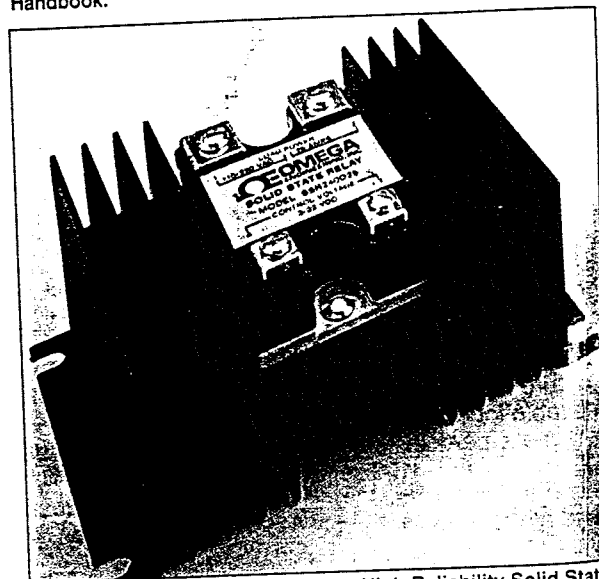
### APPLICATIONS

- ✓ Electrical Duct Heaters
- ✓ Air Compressors
- ✓ Industrial Process Heating
- ✓ Furnaces
- ✓ Electric Boilers

The SEQ1 Series microprocessor based sequencer provides pilot duty temperature control for multistage electric heating and cooling equipment. As input current level is increased from 4 to 20 mA, the sequencer brings the stages on.



New CN3000 Series Microprocessor Controller, \$750, with TMTSS-125G-6 Thermocouple, \$24. See Page P-16, Temperature Handbook.



Shown with OMEGA SSR240AC25 High Reliability Solid State Relay, \$26. See Page P-100, Temperature Handbook.

The rate at which the loads are switched on is determined by the user-adjustable time delay. Similarly, when the input no longer calls for heat or cooling, stages are shed with the same time delay.

The SEQ1 Series sequencer is a proportional, progressive sequencing controller. The number of stages on is proportional to the input signal. Stages are brought on or shed as the signal increases or decreases by an amount equal to the total span divided by the number of stages plus or minus one stage. The first stage to come on

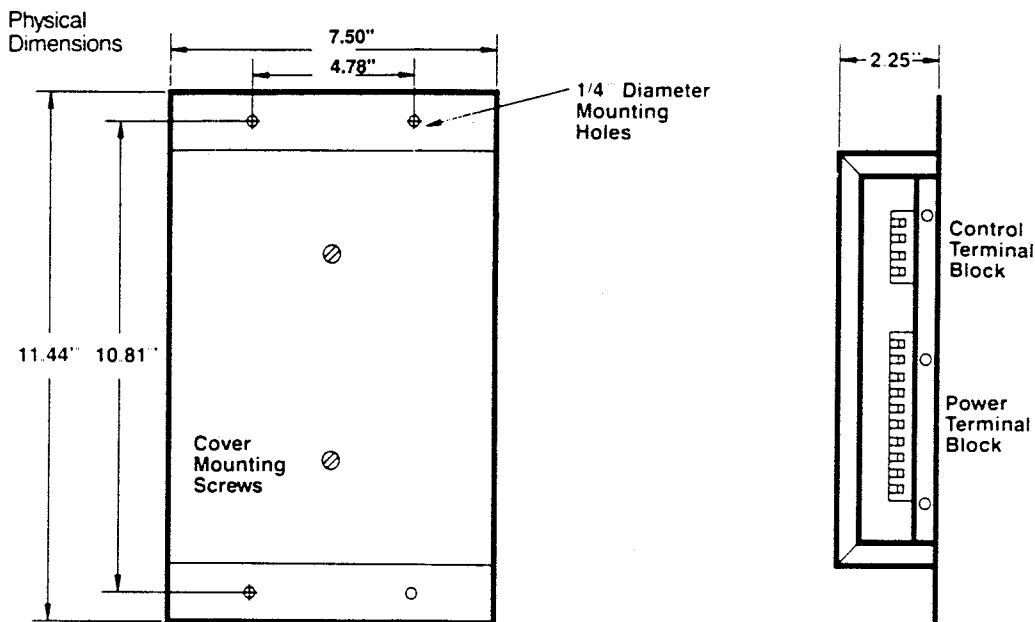
Position on a Wall or Inside a Panel.

**NEW!**



will be the first stage to go off. The first stage will be rotated on a continuous basis, thereby extending the element and contactor life span and ensuring that any wear on the system is uniform.

**Figure 1**



## SPECIFICATIONS

**Control Mode:** proportional

**Stage Sequencing:** progressive; provides first on, first off sequencing

**Number of Stages:** 10 (20 with slave)

**UL Recognized:** under file E52105 and guide XAPX2

**Adjustable Time Delay:** 5 to 60 seconds

**Input Type:** 4 to 20 mA, 250Ω input impedance

**Environmental Conditions:** shipping: -30 to 186°F (-34 to 86°C); operating: -10 to 186°F (-23 to 86°C)

**Electrical Ranges:** voltage: 120 Vac ± 10%; frequency: 50/60 Hz; power Consumption: 20 VA

**Output:** relay

**Max. Contactor Holding Coil Load Per Stage @120 Vac:** steady state

**Rating:** 100 VA@ 186°F (86°C); inrush: 1000 VA@ 186°F (86°C)

**Wiring Connections:** 6-32 captive wire clamping screws

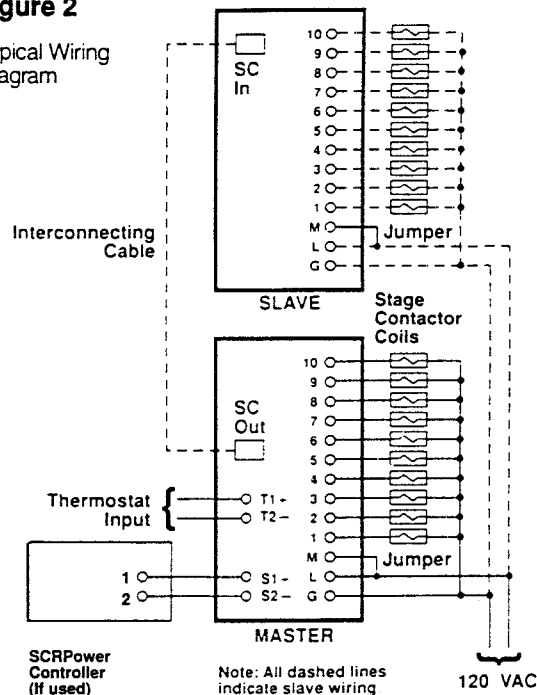
**Enclosure:** painted aluminized or galvanized steel

**Universal Mounting:** any position on a wall or inside a panel

**Power Consumption:** 20VA

**Figure 2**

Typical Wiring Diagram



**U.S. AND CANADA**

For placing orders, call:

**1-800-82-66342™**

For technical assistance, call:

**1-800-872-4328™**

## To Order (Specify Model Number)

Model No.	Price	Description
SEQ1	\$462	Progressive proportional, 10-stage sequencer with 4 to 20 mA input.*
SEQ1/SL	462	Slave for SEQ1

\*Other inputs available. Contact OMEGA sales for optional input models. To order cable to connect the master to the slave, specify length of cable required and order part # 209-ST-72-10, \$40.

**Ordering Example:** SEQ1 is a progressive, proportional, 10-stage sequencer with 4 to 20 mA input, \$462.