

# Revue de littérature

---

## Évaluation du potentiel viticole d'un site

**Réalisée par Evelyne Barriault, agronome**

Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

[evelyne.barriault@mapaq.gouv.qc.ca](mailto:evelyne.barriault@mapaq.gouv.qc.ca)

Avec la précieuse collaboration de :

**Aubert Michaud, Ph.D.**

Chercheur, physique et conservation des sols et de l'eau  
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement

**Gaétan Bourgeois, Ph.D.**

Chercheur scientifique, Bioclimatologie et modélisation  
Agriculture et Agroalimentaire Canada

**Lucie Grenon, agronome pédologue**

Agente des ressources en sols  
Agriculture et Agroalimentaire Canada, Direction générale de la recherche

**Dominique Plouffe**

Assistante de recherche, Bioclimatologie et modélisation  
Agriculture et Agroalimentaire Canada



## Table des matières

1.	Des facteurs inter-reliés .....	5
2.	Le climat .....	7
2.1	Températures minimales hivernales .....	8
2.2	Nombre de jours sans gel .....	12
2.3	Accumulation de degrés-jours .....	14
2.4	Gel printanier .....	15
2.5	Conditions automnales.....	17
2.6	Pondération des critères climatiques.....	18
3.	Le paysage .....	19
3.1	Altitude et position dans le relief .....	19
3.2	Orientation .....	20
3.3	Pente.....	22
3.4	Plans d'eau .....	23
3.5	L'exposition aux vents.....	23
3.6	Pondération des critères liés au paysage.....	24
4.	Le sol.....	24
4.1	Profondeur du sol et de la roche mère .....	25
4.2	Drainage.....	26
4.3	Eau disponible.....	28
4.4	Acidité.....	29
4.5	Fertilité.....	30
4.6	Pondération des critères hydro-pédologiques .....	31
5.	Indexation multi-critères .....	33
6.	Bibliographie.....	34



## 1. Des facteurs interreliés

Dans la littérature pertinente à la viticulture, les auteurs sont nombreux à affirmer que le choix du site est un élément déterminant dans la viabilité et la productivité d'un vignoble (Wolf et al 2008; Pool 2000; Jordan 1980; Magarey et coll. 1998; White 2003; Dry et Smart 1988; Sayed 1992). Il s'agit en effet d'une décision importante et irréversible qui aura des répercussions sur la productivité et la pérennité du vignoble, et ce, tout particulièrement pour les vignobles de climat froid comme ceux de l'Amérique du nord (Wolf et coll. 2008). Plusieurs études portant sur l'évaluation du potentiel d'un site pour l'établissement d'un vignoble ont été réalisées dans le monde (Magarey et coll. 1998; Wolf et Boyer, 2003; Itami et al 2000). Ces études, fondées sur la pondération de critères liés au climat, au sol et au paysage, diffèrent dans l'importance relative accordée à ces différents critères. Par exemple, en Australie, Itami et coll. (2000) attribuent une pondération de 70 % aux propriétés du sol dans une région au relief relativement uniforme et doté d'un climat relativement doux. Wolf et Boyer (2003), qui ont réalisé un projet semblable en Virginie aux États-Unis, ont pour leur part attribué une pondération de seulement 25 % aux propriétés du sol, alors que 30 % était associé au facteur d'élévation. Dans le relief montagneux de la Virginie, ce critère y revêt une grande importance puisqu'il influence la température, un facteur déterminant sur la croissance des vignes et le mûrissement des raisins

D'une façon générale, les facteurs climatiques qui déterminent la qualité d'un site incluent la température minimum hivernale, la longueur de la saison de croissance, en termes de nombre de jours sans gel et de degrés-jours, ainsi que la fréquence des gels printaniers tardifs et automnaux hâtifs.

Au point de vue hydro-pédologique (propriétés des sols et de l'égouttement), la qualité du drainage et la profondeur minimum du sol sont les principaux facteurs qui déterminent la qualité de la récolte et le potentiel d'un site viticole (Jordan et al 1980; Wolf et al 2008; Itami 2000; Magarey et coll. 1998). Ces auteurs ont aussi considéré la capacité de rétention en eau (réserve d'eau utile) et le pH du sol dans leur évaluation du potentiel viticole. Pour Itami (Australie) le pourcentage de sodium échangeable du sol (« sodicity ») comptait pour 18 % de la pondération du facteur sol.

Enfin les propriétés du paysage, notamment le relief et la proximité de grands plans d'eau, viennent moduler les effets du climat et déterminent en partie les propriétés des sols, notamment son drainage.

Ces trois facteurs, le climat, le sol et le paysage sont ainsi interreliés et définissent globalement les conditions propices à une production optimale de raisins de qualité destinés à la vinification.

La grille québécoise d'évaluation du potentiel viticole doit donc prendre en considération les particularités des sols, des paysages et du climat propres à son territoire, de même qu'en refléter les interactions.

Cette revue de littérature a pour but d'évaluer l'influence relative de ces différents facteurs de façon à proposer un ensemble de critères destinés à l'évaluation du potentiel viticole de terres agricoles du Québec.

## 2. Le climat

Au point de vue de la latitude, la zone agricole du Québec (du 45° au 50° parallèle) se compare à plusieurs grandes régions viticoles d'Europe. Par exemple, la ville de Montréal (45.5 ° latitude) est sensiblement à la même hauteur que celle de Bordeaux (44.8 ° latitude) tandis que la ville de Québec (46.8 ° latitude) s'apparente à celle de Dijon (47.3 ° latitude) en Bourgogne ou celle de Saumur dans la vallée de la Loire. Ces régions Européennes bénéficient toutefois de l'influence des courants chauds du Gulf Stream alors que climat du Québec est pour sa part influencé par le courant froid de l'Arctique (Vandal 1986). Lorsqu'on étudie le potentiel pour l'établissement d'un vignoble, on doit distinguer trois types de climats : le macroclimat, le mésoclimat et le microclimat. Le macroclimat fait référence à l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, précipitations, force du vent, etc.) qui caractérisent une région sur une période de plusieurs années (Dry et Smart 1988). On peut parler du macroclimat de la vallée du St-Laurent qui est différent du macroclimat du Lac St-Jean ou même des Laurentides. Ces macroclimats sont de types continental ou maritime. Le climat de type continental, qui caractérise la majeure partie de la zone agricole du Sud-Ouest de la province de Québec (Doucet 1992), est influencé par le mouvement rapide de grandes masses d'air. Le climat de type maritime, comme celui de l'Estuaire du St-Laurent est plus tempéré, car influencé par de grandes étendues d'eau comme le fleuve St-Laurent et certains grands lacs. Dans son ouvrage « La Science agricole », Doucet décrit le territoire agricole Québécois en 7 zones délimitées par unités thermiques maïs (UTM).

Le mésoclimat reflète pour sa part la position occupée par le vignoble dans le paysage. L'élévation, l'orientation des pentes ou la présence de dépressions conditionnent en effet les conditions météorologiques propres au site. Enfin, le microclimat représente l'environnement spécifique d'un rang de vigne et de sa canopée. Il est influencé non seulement par la densité du feuillage, mais aussi par la température de l'air, la nature du sol, la vitesse du vent et la qualité de l'ensoleillement (Wolf et coll. 2008). Le tableau 1 résume la distinction entre ces trois types de climats.

**Tableau 1.** Distinction entre macro, méso et microclimat.

Type de climat	Description	Facteurs qui exercent une influence sur ce type de climat
<b>Macroclimat</b>	Continental	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Grandes masses d'air</li> <li>✓ Position géographique</li> <li>✓ Régions climatiques</li> </ul>
	Maritime	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Grandes étendues d'eau</li> <li>✓ Position géographique</li> <li>✓ Régions climatiques</li> </ul>
<b>Mésoclimat</b>	Propre au site	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Inclinaison de la pente</li> <li>✓ Orientation du site (N-S, E-O)</li> <li>✓ Altitude</li> <li>✓ Position dans le relief environnant</li> </ul>
<b>Microclimat</b>	Propre au rang de vigne	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Densité du feuillage</li> <li>✓ Température de l'air</li> <li>✓ Nature du sol</li> <li>✓ Vitesse du vent</li> <li>✓ Qualité de l'ensoleillement</li> </ul>

Dans une perspective d'évaluation du potentiel d'un site donné pour l'implantation d'un vignoble, les caractéristiques du macroclimat permettront dans un premier temps d'éliminer certaines régions qui ne satisfont pas les critères minimums de température propices à cette production. La prise en compte du mésoclimat permettra en second lieu, à l'échelle plus fine, de moduler le potentiel des sites propices à la culture à l'intérieur d'une région donnée.

## 2.1 Températures minimales hivernales

La **fréquence des températures minimales hivernales** est utilisée pour déterminer si un site est propice ou non à la culture de la vigne (Wolf et Boyer, 2003; Magarey et coll. (1998); Wolf et coll. 2008). En effet, le froid peut affecter la productivité du vignoble en causant le gel des bourgeons à fruit de la prochaine saison, mais aussi causer des dommages aux sarments, aux troncs et même aux racines. Dans les conditions hivernales de la zone agricole du Québec, les dommages causés par le



froid surviennent non seulement au milieu de l'hiver, mais aussi vers la fin de l'automne, avant que la vigne ne soit complètement acclimatée, ou tard au printemps, lorsque la sève s'est remise à circuler (Khanizhadeh 2001); Jordan et coll. (1980) suggèrent comme critère une récurrence inférieure à 4 années sur dix des températures en dessous de -23 °C, de même que des températures minimales de -26 °C qui ne surviennent pas plus d'une fois aux dix ans. Bien qu'il ne soit pas explicitement mentionné, on peut penser que ce critère s'adresse particulièrement aux *Vitis vinifera* (voir tableau 2). Les sites présentant des températures minimales inférieures à ce critère sont donc jugés non propices à la culture de la vigne. Toutefois, la tolérance au froid exprimée par la rusticité n'est pas la même pour tous les cépages. La rusticité est définie comme la capacité d'une vigne en dormance à survivre aux températures froides de l'automne et de l'hiver (Zabadal et coll. 2007). La tolérance au froid des vignes s'acquiert graduellement en réponse à une diminution de la photopériode ainsi qu'à un refroidissement des températures, lors du processus d'aoûtement. Ce dernier débute à la fin de l'été (avec la diminution de la photopériode) et se poursuit jusqu'au milieu de l'hiver à mesure que les températures refroidissent. Dans la région *Mid Atlantic* par exemple, Wolf et coll. (2008) estiment que les bourgeons dormants, les sarments et les troncs atteignent généralement leur aoûtement maximum (« maximum cold hardiness ») à la mi-décembre et maintiennent cet état jusqu'à la mi-février ou à la fin février. La vitesse à laquelle se produit l'aoûtement pourra varier en fonction de leur exposition aux températures froides, mais aussi en fonction de leur environnement, des pratiques culturales et du cultivar (Zabadal et coll. 2007). C'est lorsque cette tolérance maximale de la vigne au froid est atteinte que la rusticité est mesurée. Le degré de rusticité des cépages de vigne est généralement associé à la température létale pour 50 % des bourgeons primaires. Le tableau 2, adapté de Zabadal et coll. (2007) et Wolf et coll. (2008), présente la tolérance au froid des vignes en 6 classes qui vont des moins rustiques (very « tender ») au plus rustiques (« very hardy »). Ces classes regroupent des cépages dont la tolérance au froid des bourgeons primaires va de -15 à -35 °C. Cette approche pourrait être appliquée au Québec pour délimiter des zones climatiques propices aux groupes de cépages.

**Tableau 2.** Classes de rusticité de certains cépages de vignes (adapté de Zabadal et coll. (2007) et Wolf et coll. 2008)

Classe de rusticité	Température minimum critique	Espèces	Exemples de cépages
1 : « Very tender »	-15 à -20 °C	La plupart des <i>Vitis rotundifolia</i>	Carlos, Cowart, Scuppernong, Supreme
		Plusieurs <i>Vitis vinifera</i>	Chenin blanc, Merlot, Semillon, Syrah (shiraz), Sauvignon blanc, Sangiovese, Tempranillo, Zinfandel,
2 : « Tender »	-17 à -22 °C	Plusieurs <i>Vitis vinifera</i>	Cabernet Sauvignon, Gewurztraminer, Pinot gris, Pinot blanc, Pinot noir, Sangiovese, Viognier
3 : « Moderately tender »	-20 à -23 °C	Quelques <i>Vitis vinifera</i> et certains hybrides	Chardonnay (classé « tender » dans Zabadal), Cabernet franc, Gamay noir, Chambourcin, Lemberger, Riesling, Vidal blanc,
4 : « Moderately hardy »	-23 à -26 °C	Plusieurs hybrides	Aurore, Baco noir, Cayuga White, Chancellor, Chardonel, Chelois, Niagara, Norton (Cynthiana), Seyval blanc, Traminette,
5 : « Hardy »	-26 à -29 °C	La plupart des <i>Vitis labrusca</i>	Catawba, Concord, DeChaunac, Delaware, Niagara, Marécahl Foch (classé « very hardy » dans Zabadal) Vignoles (classé 4 dans Zabadal)
6 : « Very hardy »	-29 à -34 °C	Certains hybrides	Frontenac, Foch, La Crescent

Plocker et Parker (2001) incluent d'autres cépages de climat froid encore plus rustiques. Ces derniers sont présentés dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Degré de rusticité de certains cépages de climat froid (adapté de Plocker et Parker 2001)

Classe de rusticité	Température minimum critique	Exemples de cépages
Rustiques	-35 °C	Varajane Sinine, Hasansky sladki, Zilga, ES 5-4-16, Sabrevois, Ste-Croix, Frontenac, S-675, E.S. 6-16-30, Kay Gray
Très rustiques	-40 °C	Sispaska (R), D.M. 8521-5 (R), Troubador (R), ES 10-18-30 (B)

Au Québec, les viticulteurs se sont adaptés aux contraintes de froid en cultivant des cépages hybrides très résistants au froid, ou en protégeant certains cépages moins rustiques pendant l'hiver à l'aide de toiles géotextiles, de paille, ou en les recouvrant de buttes de terre d'environ 40 à 50 cm (buttage). Ces méthodes de protection permettent aux viticulteurs de cultiver certains cépages de classe 3 (Vidal blanc, Chardonnay), mais surtout des cépages de classe 4, 5 et 6 dans des régions où les températures minimales atteignent régulièrement -30 °C, voire parfois -35 °C (Jolivet et coll. 1999). Dans une étude sur les méthodes de protection hivernale, Khanizadeh (2001) a observé que la localisation (le site) était le facteur qui a le plus influé sur le rendement et la mortalité des vignes. Pour assurer une production annuelle stable dans les vignobles commerciaux du Québec, il faut avoir recours à des cultivars résistants au froid et protéger les cultivars semi-rustiques et non rustiques au moyen de neige, de terre ou de toiles. Bien que coûteuse, l'utilisation de toiles géotextiles est la méthode la plus efficace pour protéger les vignes non rustiques ou semi-rustiques contre les températures extrêmes (Khanizadeh 2001). En Russie, Stetsenko (1978) a constaté que la survie à l'hiver était bonne et que les rendements pouvaient être accrus de 200 % même dans les régions les plus froides, lorsque l'on avait recours à des toiles de polyéthylène et à de la paille au lieu du buttage.

Ainsi, bien que les températures minimales de l'hiver soient un critère important dans la sélection d'un site, elles pourraient ne pas être aussi déterminantes au Québec qu'elles l'ont été en Virginie ou dans l'état de New York, dans la mesure où les vignes québécoises non rustiques sont généralement protégées durant l'hiver.

## 2.2 Nombre de jours sans gel

Le nombre de jours sans gel est utilisé pour déterminer si la saison de croissance est suffisamment longue pour permettre à la vigne de compléter son cycle, du débourrement à la dormance. Au Québec on compte par exemple 163 jours sans gel en Montérégie tandis que la région de Québec en compte 149 (probabilité de 8 années sur 10 ou 80 %). Jordan et coll. (1980) recommandent pour leur part un minimum de 165 jours sans gel, même pour les cépages hâtifs, et soulignent qu'une période de plus de 180 jours sans gel est préférable. Wolf et coll. (2008) distinguent certaines variétés hâtives comme certains Muscats et le Viognier, qui peuvent atteindre leur pleine maturité dans une période aussi courte que 155 jours sans gel. Toutefois, un nombre additionnel de jours sans gel est requis après la récolte afin de permettre l'accumulation de sucres dans les sarments, les troncs et les racines (Wolf et coll. 2008). Sur le site Internet de Cornell, on indique que 160 jours sans gel est un minimum, et qu'un nombre de 170 jours sans gel est souhaitable. Finalement, en Oregon où les vinifera comptent pour plus de 80 % des surfaces plantées et les hybrides tels que le Maréchal Foch et le Baco noir pour moins de 20 %, une période de 160 à 180 jours sans gel est considérée à faible potentiel, tandis que la période de 140 à 160 jours sans gel est jugée non viable et une période de plus de 200 jours est optimale.

Tel que mentionné précédemment, le nombre de jours requis pour l'aoûtement pourra varier en fonction de l'exposition des vignes aux températures froides, mais aussi en fonction de leur environnement, des pratiques culturales et du cultivar. Les seuils minimal et maximal utilisés par Magarey et coll. (1998) pour établir le potentiel viticole dans la région de New York, étaient respectivement de 150 et de 200 jours. Plocker et Parker (2001) présentent des cépages de climat froid qui peuvent atteindre leur maturité en aussi peu que 110 à 135 jours sans gel et de 600 à 800 degrés jours. Le tableau 4, tiré de Wolf et coll. (2008), présente cinq classes de cépages en fonction de leur période de maturité. Le tableau 5 adapté de Plocker et Parker (2001) présente une classification légèrement différente incluant de nouveaux cépages très hâtifs. Notons par exemple que le Maréchal Foch classé très hâtif par Wolf et coll. (2008) se retrouve dans la classe de mi-saison de Plocker et Parker (2001). De façon similaire, il serait utile de distinguer des classes de cépages hâtifs, semi-hâtifs et tardifs dans leur appartenance aux zones climatiques du potentiel viticole au Québec. Des travaux sur ce sujet sont en cours au Québec au centre de recherche agroalimentaire de Mirabel par C. Provost et aussi par G. Dubé et I. Turcotte.

**Tableau 4.** Classification de quelques cépages en fonction de leur période de maturité (adapté de Wolf et coll. 2008).

Période de maturité	Exemples de cépages
Très hâtif (« very early »)	Aurore, Baco noir, Maréchal Foch, Muscat Ottonel, Seyval blanc *
Hâtif (« early »)	Cayuga White*, Chardonel*, Chardonnay*, Chelois*, De Chaunac*, Delaware*, Gewüztraminer, Léon Millot, Niagara, Pinot blanc, Pinot gris, Pinot noir, Sauvignon blanc, Seyval blanc*, Vignoles, Viognier
Mi-saison (« mid season »)	Cayuga White*, Chambourcin*, Chancellor, Chardonel*, Chardonnay*, Chelois*, Frontenac*, Merlot, Niagara, Riesling, Rougeon, Syrah, Trempanillo, Traminette, Vidal*, Vignoles*, Zinfandel*
Tardif (« late »)	Cabernet Franc, Concord, Sangiovese, Tannat, Vidal blanc*, Zinfandel
Très tardif (« very late »)	Cabernet Sauvignon, Mouvèdre, Norton (Cynthiana)

\*Les cépages marqués d'un astérisque peuvent se retrouver dans deux catégories en fonction du type de vin qu'on souhaite en faire.

**Tableau 5.** Classification de quelques cépages en fonction de leur période de maturité (adapté de Plocker et Parker 2001).

Période de maturité	Nombre de degrés-jours requis (base10°C)	Nombre de jours sans gel	Exemple de cépages
Très hâtif	600 à 800	110 à 135	Varajane, Sinine (R), Hasansky Slad (R), Novgoroda (B), Sukribe (B), Veldze (B)
Hâtif	800 à 1000	135 à 150	Sipaska (R), ES 10-18-30 (B), Zilga (R), E.S. 6-16-30 (B), Kay gray (B), Rondo (R), Reform (B).
Mi-saison	1000 à 1250		DM 8521-5, Troubador, E.S. 5-4-16, Sabrevois, Ste-Croix (R), E.S. 5-3-89 (B), La Crescent (B), Louis Swenson (B), Praisrie Stars (B), St-Pépin (B), Vandal Cliche (B), Joffre (R), Millot (R), Foch (R), Bianca, Ravat 6, Seyval
Tardif	Plus de 1250		Frontenac (R), Swenson white (B), La Crosse (B)

(R) Cépage rouge, (B) Cépage blanc.

La méthode pour calculer le nombre de jours sans gel diffère selon les auteurs. Wolf et coll. (2008) et Wolf et Boyer (2003) calculent le nombre de jours sans gel sur la base de la date moyenne à laquelle survient la dernière température inférieure à 0 °C, jusqu'à la date moyenne où la première température inférieure à 0 °C est enregistrée. Pool (2000) estime pour sa part que la longueur de la saison de croissance est le nombre de jours compris entre la dernière occurrence de température inférieure à -2 °C (28 °F) au printemps, et la première occurrence de -2 °C à l'automne. Pour bâtir la carte climatique de la longueur de la saison de croissance, Magarey et coll. (1998) ont utilisé la banque de données ZedX (Boalsburg, USA) et comptabilisé les jours entre la dernière occurrence des températures de -1,7 °C (29 °F) au printemps, et la première occurrence de température de -1,7 °C à l'automne sur un intervalle de 30 ans. Les projections de ce critère ont été reproduites à l'échelle du km<sup>2</sup> sur la base de l'interpolation, pondérée pour l'élévation, des observations météorologiques des stations du Nord-Est de l'Amérique.

En résumé, retenons que la prise en compte du facteur macroclimatique du nombre de jours sans gel permet dans un premier temps de déterminer si un site est propice à la culture de la vigne ou non, puis dans un deuxième temps de délimiter des zones propices à certains cépages plutôt qu'à d'autres

### 2.3 Accumulation de degrés-jours

L'accumulation de degrés-jours et le nombre de jours sans gel sont des facteurs intimement liés. En effet, certains cépages, rouges en particulier, exigent de la chaleur entre la véraison et le moment de la récolte afin d'atteindre leur plein potentiel de maturité. Ces derniers, même s'ils sont cultivés dans une région qui bénéficie d'une période de plus de 180 jours sans gel, peuvent ne jamais atteindre leur plein potentiel de maturité. Selon Helen Fisher, les climats maritimes de certaines parties de l'Angleterre, de la Belgique et du Danemark en sont un bon exemple (communication personnelle). Dans ce type de climat, les cépages rouges, même hâtifs, conservent un goût herbacé et une acidité élevée de même que des couleurs bleu foncé dues à une croissance trop vigoureuse des vignes après la véraison. Selon Vandal (1986), la macération carbonique permet toutefois de contrecarrer les effets indésirables de ce manque de maturité.

L'accumulation de degrés-jours (DJ) en base 10 °C est utilisée pour connaître la quantité de chaleur potentielle d'un site selon l'équation suivante (Pool 2000) :

$$DJ = \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} - 10$$

## 2.4 Gel printanier

Au printemps, la sensibilité des bourgeons au froid varie en fonction de leur stade phénologique. Les seuils critiques passent ainsi de -10 à -2 °C, entre le stade dormant et les premières feuilles déployées (Khanizadeh 2001; Deureude et coll. 1993; Barriault et Gosselin 2010; Wolf et Boyer 2003). Bien que les gelées printanières ne causent généralement pas la mort des vignes, dû à la présence de bourgeons secondaires et tertiaires qui prennent la relève lorsque le bourgeon primaire est endommagé, elles peuvent néanmoins réduire la récolte de façon importante. Le gel printanier est aussi une préoccupation importante pour le viticulteur parce qu'il affecte la récolte non seulement pour l'année en cours, mais aussi pour les années futures, en plus de retarder la maturité des fruits.

Les facteurs qui favorisent le débourrement hâtif, tels que l'orientation du versant vers le sud ou un printemps hâtif, augmentent les risques de dommages dus au gel (Wolf et Boyer 2003.) Le débourrement est influencé par l'accumulation de degrés-jours : plus l'accumulation de chaleur est grande sur un site, plus le débourrement est hâtif. Or, le débourrement hâtif s'avère problématique seulement s'il est entrecoupé de périodes de gel. La prise en compte du mésoclimat permet d'estimer le risque relatif du gel printanier et du gel automnal hâtif associés à un site occupant une position particulière dans le paysage. Ainsi, dans des zones climatiques où la longueur de la saison de croissance est suffisante, le gel peut occasionner des pertes en raison des particularités de la topographie. Durant les nuits où le ciel est couvert et que les faibles vents limitent le déplacement des masses d'air, l'air froid, plus dense que l'air chaud, s'accumule dans les zones plus basses du relief et peut causer le gel des bourgeons ou même des jeunes pousses. Fisher et Slingerland (2009) ont publié une carte qui définit des zones propices à certains cépages et identifie les probabilités de gel associées aux différentes zones dans la région de Niagara, en bordure du lac Ontario. Cette bande étroite de 12,500 hectares est considérée comme « The fruit belt ». Sur cette carte on peut voir que la zone qui bénéficie de la plus grande accumulation de degrés-jours est aussi la plus à risque pour les gels printaniers. Les auteurs attribuent cette caractéristique au débourrement hâtif des cépages dans cette zone ainsi qu'à la faible pente qui ne permet pas l'écoulement de l'air froid dans cette zone lors des nuits où le phénomène de gel radiatif se produit. La section « Position dans le relief » du présent document aborde plus en détail ce processus.

Selon Wolf et Boyer (2003), un des objectifs principaux de la sélection d'un site propice à la culture de la vigne est de localiser des sites qui ont des risques relativement faibles de gelées printanières tardives et automnales hâtives. Les auteurs proposent l'Indice de Gel Printanier (IGP), Spring Frost Index (SFI) pour évaluer les risques de gel associés à un site. Cet indicateur, développé par Gladstone (2000), est calculé pour un mois donné (*i*) pour un site donné à l'aide de la formule suivante :

$$\text{IGP} = T \text{ moyenne du mois } \ll i \gg - T \text{ moyenne minimum du mois } \ll i \gg$$

Où la T moyenne du mois est calculée sur la base des températures journalières maximales et minimales ( $T^{\circ} \text{ max} + T^{\circ} \text{ min} / 2$ ) et la température moyenne minimum du site est calculée en faisant la moyenne des températures minimum de chaque jour du mois.

L'IGP indique la tendance d'un site à produire de larges fluctuations de température durant de courtes périodes de temps. Plus l'indice est élevé, plus le risque est grand. Wolf et Boyer (2003) ont établi des risques faibles associés à un indice inférieur à 11.0 et des risques élevés associés à des indices supérieurs à 13. Les auteurs mentionnent que bien que l'indice soit peu précis, il traduisait bien les risques de gel en Virginie et suggèrent que le même indice pourrait être utilisé pour le gel automnal hâtif.

Au Québec, la période de débourrement des différents cépages -s'échelonne du début à la fin mai alors que les températures peuvent à l'occasion passer sous le seuil de 0 °C. L'IGP pourrait être calculé pour les mois de mai et juin et servir de critère dans la sélection d'un site. Vu les pertes économiques importantes occasionnées par les gelées printanières tardives dans les vignobles québécois, ce critère devrait probablement figurer parmi les facteurs climatiques prépondérants du potentiel d'un site.

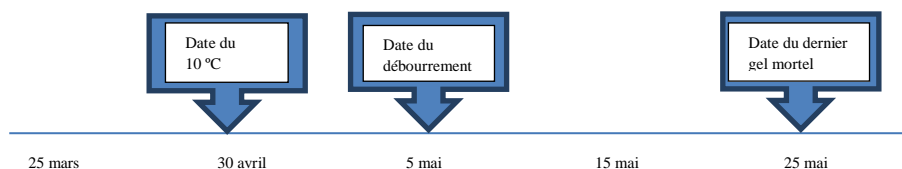
Plocker et Parker (2001), suggèrent une autre façon de prédire le risque de gel sur un site en plaçant trois dates importantes sur l'échelle du temps, soit : la date du 10 °C, la date estimée du débourrement, la date du dernier gel mortel.

**La date du 10 °C**, correspond à la date à laquelle la température moyenne de 10 °C est atteinte pour la première fois. Elle est calculée en additionnant la température maximale de la journée à la température minimum de la journée, divisé par 2 ( $T^{\circ} \text{ max} + T^{\circ} \text{ min} / 2$ ).

**La date estimée du débourrement** survient généralement 7 à 15 jours après la date du 10 °C, ou plus précisément après le cumul de 24 à 29 degrés-jours suite à la date du 10 °C.

**La date du dernier gel mortel** correspond à la date du dernier -3 °C.

Ces dates sont ensuite inscrites sur l'*échelle du temps* pour représenter le risque de gel printanier. La figure 1 démontre la représentation de cette méthode. Le site est considéré à risque lorsque la date du dernier gel mortel survient après le débourrement. Les auteurs ne suggèrent pas de récurrence, mais mentionnent qu'il revient au vigneron le choix de décider ce qu'il juge acceptable en termes de récurrence.



**Figure 1.** Risque de gel printanier élevé sur un site où la date du dernier gel mortel survient après la date du débourrement d'un cépage (adapté de Plocker et Parker, 2001).



## 2.5 Conditions automnales

À l'automne le gel hâtif peut causer la chute prématurée du feuillage des vignes et limiter le mûrissement optimal des raisins ainsi que l'aoûtement des bois (Galet, 1993). Il existe des méthodes de protection contre le gel des bourgeons au printemps et les gels hâtifs à l'automne, mais ces méthodes sont très coûteuses et limitées en termes de gains de température (Barriault et Gosselin 2010). Sur certains sites, la fréquence des épisodes de gels printaniers tardifs et automnaux hâtifs est telle que la présence de méthodes de protection sera indispensable à la productivité et à la viabilité du vignoble (Poling 2008).

Outre le gel, les pluies abondantes et le froid durant l'été et l'automne peuvent aussi affecter la qualité de la récolte en réduisant le succès de la pollinisation, lorsqu'elles surviennent pendant la floraison, ou en favorisant la présence des maladies. Toutefois, la tolérance aux températures froides avant et pendant la floraison varie d'un cépage à l'autre (Plocker et Parker, 2001). De façon similaire, les pluies abondantes après la véraison (début de la maturation des fruits) peuvent diminuer la qualité de la récolte en augmentant la teneur en eau des raisins et en diluant leurs arômes ou tout simplement en compliquant les opérations de récolte (Itami et coll. 2000).

Dans le document «New York Site Selection in New York», Magarey et coll. (1998) ont aussi attribué une pondération aux conditions climatiques du mois d'octobre (quantité de précipitation, radiation solaire et températures minimale et maximale) qui peuvent avoir un impact sur la qualité de la récolte et la facilité à vendanger. Itami et coll. (2000) ont attribué 14 % au critère de quantité de pluie pendant la floraison et 28 % à la quantité de pluie durant la période de mûrissement des fruits.

En Oregon, Jones et al (2004) ont aussi tenu compte de la fréquence et la quantité de précipitation durant les périodes critiques de croissance des vignes (floraison et maturation) ainsi que des températures moyennes et extrêmes durant la période de mûrissement.

En résumé, la température, et plus particulièrement le gel, demeure une préoccupation constante pour les viticulteurs en climat froid. Ces derniers doivent non seulement s'assurer que les fruits atteindront leur pleine maturité et développeront les arômes qui caractérisent leur plein potentiel, mais doivent aussi protéger leurs vignes des risques de gels printaniers tardifs et automnaux hâtifs.

## 2.6 Pondération des critères climatiques

Pour les vignobles de l'Est de l'Amérique du Nord, le climat, notamment la température, est le facteur déterminant dans la sélection d'un site pour l'implantation d'un vignoble (Wolf et coll. 2008). Si le site satisfait les critères minimum au point de vue climatique, le prochain facteur à considérer sera la qualité du sol (Jordan et coll. 1980; Magarey et coll. 1998).

L'accumulation de degrés-jours ne faisait pas partie des critères pondérés dans la grille de l'état de New York. En Australie, Itami et coll. (2000) attribuent une valeur de 46 % à la pondération de ce critère dans l'évaluation du facteur climatique. Le risque de gel printanier est cependant considéré comme un facteur relativement peu important par Itami, puisqu'il ne compte que pour 7 % de la pondération du facteur climatique.

Dans l'état de New York, les critères de température minimum hivernale (intervalle de 10 ans) et de longueur de la saison de croissance ont chacun été divisés en cinq classes. Considérés comme des critères très importants, une valeur de 50 % de la pondération a été attribuée à la température minimum hivernale tandis qu'une valeur de 25 % a été attribuée à la longueur de la saison de croissance. La radiation solaire du mois d'octobre de même que la température maximale et la quantité de précipitation ont été utilisées pour connaître les conditions de mûrissement et de récolte. Ces critères ont été divisés chacun en quatre classes et ont contribué pour chacun 5 % dans la pondération des critères de sélection d'un site. Le tableau 6 présente les valeurs utilisées pour la construction des cartes.

**Tableau 6.** Critères et pondération des indices du potentiel viticole associé au climat dans l'État de New York (Magarey et coll. 1998).

<b>Carte</b>	<b>Seuil minimum</b>	<b>Seuil maximum</b>	<b>Nombre de classes</b>	<b>Pourcentage de la pondération</b>
Température minimum hivernale	-32.2 °C	-23.8 °C	5	50
Longueur de la saison de croissance	150 jours	200 jours	5	25
Radiation solaire du mois d'octobre	2101 y/d	601 y/d	4	5
Température maximale du mois d'octobre	7.16 °C	18.7 °C	4	5
Précipitations du mois d'octobre	67.5 cm	126.2 cm	4	5

### 3. Le paysage

À l'intérieur d'une zone climatique donnée, le paysage a une influence sur l'exposition du territoire au rayonnement solaire, au gel, au vent, voire aux précipitations. Les caractéristiques du paysage peuvent ainsi être considérées comme un modulateur des conditions météorologiques à l'échelle locale. Dans le contexte agroclimatique du Québec, ces propriétés revêtent une importance particulière en viticulture, où il faut concilier les risques d'exposition au gel avec la nécessité d'amener la récolte à maturité.

#### 3.1 Altitude et position dans le relief

À des latitudes nordiques comme celles de la zone agricole du Québec, l'altitude exerce une influence sur le climat en réduisant la température moyenne au cours d'une année de l'ordre de 0.5 °C par 90 m d'élévation (Doucet 2006). La réduction des températures moyennes sur un site trop élevé peut favoriser le gel printanier tardif et automnal hâtif, de même qu'occasionner des retards dans les différents stades phénologiques de la vigne, tels qu'au débourrement et à la floraison. La maturité complète de certains cépages peut même être compromise (Magarey et coll. 1998).

En parallèle à l'altitude du vignoble, la position relative de ce dernier par rapport au relief environnant est très importante. Sur les terrains en pente, un drainage naturel de l'air froid se fait vers le point le plus bas tandis que sur les terrains plats, l'air froid plus dense s'accumule par gravité. Wolf et coll. (2008) suggèrent ainsi de favoriser les parcelles situées sur des pentes convexes plutôt que concaves, parce qu'elles facilitent le drainage de l'air froid. Aussi, les auteurs mentionnent qu'en deçà de 450 m au-dessus du niveau de la mer, les sites à plus haut potentiel viticole en Virginie se retrouvent dans la portion des 20 % les plus élevés en altitude, exception faite des sites à proximité d'un plan d'eau (voir la section sur l'effet des plans d'eau plus bas). Par exemple, dans une région où l'altitude varie de 60 à 180 m, les sites à plus haut potentiel se trouveraient à plus de 156 m.

Dans les régions montagneuses et vallonnées de la Virginie où l'altitude dépasse 450 m (1500 pi), la règle du 20 % ne tient plus. En effet, au-delà de 450 m, les auteurs indiquent que l'effet de l'altitude se combine à l'effet du relief et peut avoir des effets dramatiques sur les chutes de température, et ce, particulièrement lors des épisodes de gel radiatif. Le gel radiatif survient durant la nuit, lorsque le sol perd de la chaleur par l'émission d'un rayonnement thermique. L'air froid s'accumule alors dans les zones concaves (zones basses du relief) et déplace l'air chaud en hauteur. Wolf et coll. (2008) mentionnent la présence de ceintures thermales créées par ce mouvement des masses d'air froid et d'air chaud en région montagneuse (« thermal belt »). La ceinture thermique est cette zone où l'air chaud s'accumule. Au-delà de cette zone la culture de la vigne n'est pas recommandée puisque la température peut décliner à un rythme de  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  par 300 m d'élévation ( $-3.6\text{ }^{\circ}\text{F}$  par 1000 pieds), tandis qu'en dessous de la ceinture thermique, l'air froid s'accumule dans les vallées. Les limites de la ceinture thermique peuvent être identifiées assez facilement en mesurant la température de l'air à une hauteur de 1.20 m au-dessus du sol à intervalles de 15 m d'élévation (Wolf et al 2008). Le concept de la ceinture thermique n'a pas été appliqué à notre connaissance au contexte agroclimatique et physiographique propre au Québec. Il pourrait cependant être avantageusement considéré dans l'évaluation du potentiel viticole, tout en considérant l'influence (absolue) de l'altitude sur le risque climatique.

## 3.2 Orientation

L'orientation du site influence la rapidité du débourrement au printemps et peut avoir un impact sur les risques de gel. En effet, les sites orientés au nord ou à l'est auront tendance à un débourrement plus tardif que ceux orientés au sud et à l'ouest (Wolf et coll., 2008). Cette caractéristique des sites orientés au nord et à l'est peut ainsi réduire le risque de gel des bourgeons des cépages hâtifs au printemps, en repoussant les stades critiques de la sensibilité des bourgeons au-delà des périodes à risque. Toutefois, les sites orientés au sud ou à l'ouest auront tendance à atteindre des maxima de température journalière et un rayonnement solaire plus élevés pendant l'été comparativement à ceux orientés au nord ou à l'est. La température minimum de l'air sera aussi plus faible sur les sites orientés vers le nord, alors que la radiation de la chaleur sur les fruits sera plus grande sur les sites orientés du côté sud et ouest. Finalement, la saison de croissance est légèrement plus courte sur les

sites exposés au nord. Le tableau 7 présente l'influence de l'orientation du site sur la phénologie de la vigne ainsi que certains paramètres physiques.

**Tableau 7.** Influence de l'orientation du site sur la phénologie de la vigne et certaines caractéristiques physiques (adapté de Wolf 2008).

Paramètre	Orientation			
	Nord	Sud	Est	Ouest
Débourrement	tardif	hâtif	tardif	hâtif
T° max de la vigne pendant la journée	inférieure	supérieure	inférieure	supérieure
Vitesse d'assèchement du feuillage le matin	-	-	plus rapide	moins rapide
Radiation solaire sur fruits	inférieure		inférieure	
Radiation solaire sur vignes pendant l'hiver	inférieure		inférieure	
T° min. (air) hivernale	plus froides (inférieure)	moins froides (supérieure)		
Longueur la saison de croissance	plus courte	plus longue		

Si la température maximale de la vigne pendant la journée et la radiation solaire sur les fruits peut permettre des gains au point de vue de la maturité et de la qualité de la vendange, la vitesse d'assèchement du feuillage le matin aura pour effet de diminuer les risques associés aux maladies fongiques considérées comme les principaux ravageurs de la vigne au Québec.

Plocker et Parker (2001) démontre que dans l'hémisphère Nord, un site orienté au sud et dont la pente est de 15 % peut recevoir jusqu'à 22.5 % plus de rayonnement solaire à la mi-septembre qu'un site ou la pente est presque nulle.

En Oregon, Jones et coll. (2004) ont attribué un plus grand potentiel aux sites orientés du sud-ouest au sud-est, tandis que les sites orientés du nord-ouest au nord-est ont obtenu les plus faibles potentiels viticoles.

En résumé, en ce qui a trait aux risques de gels printaniers, les sites orientés au sud et à l'ouest sont plus à risque, ce qui aurait pour effet de réduire leur potentiel viticole. Toutefois, leur potentiel de produire des raisins plus matures et de plus grande qualité est accru. La rusticité et les exigences de saison de croissance propres aux cépages seront assurément des facteurs à considérer dans l'évaluation d'un site donné.

### 3.3 Pente

Tel qu'il a été mentionné plus tôt dans la section sur la position dans le relief, la présence d'une pente légère à modérée est souhaitable puisqu'elle permet le drainage de l'air froid. En général, plus la pente est forte plus l'air froid se draine rapidement, à moins qu'il ne rencontre un obstacle comme une haie ou un boisé. La présence d'une pente est aussi favorable au drainage de l'eau de surface et souterraine. En Oregon, Jones et coll. (2004) attribuent le meilleur potentiel aux sites qui ont une pente de 5 à 15 %. Les auteurs mentionnent que les sites où la pente est supérieure à 30 % ne sont pas viables. Dans l'est de l'Amérique du Nord, les pentes de plus de 15 % ne sont toutefois pas recommandées à cause des difficultés et des risques associés au travail de la machinerie ainsi que des risques accrus d'érosion des sols, particulièrement lors de la fonte des neiges. Le tableau 8 présente l'impact du degré d'inclinaison de la pente sur l'érosion des sols, le travail de la machinerie, le drainage de l'air froid et de l'eau (Pool, 2000).

**Tableau 8.** Impact de l'inclinaison de la pente sur le potentiel viticole d'un site (adapté de Pool, 2000).

Degré d'inclinaison de la pente	Impact sur le site
0 à 2.5 %	Facile à gérer, les risques d'érosion du sol sont faibles, peut être propice au gel radiatif par le phénomène d'inversion de température
2.5 à 5 %	Permet un drainage correct de l'air froid. Risque d'érosion des sols faible à modéré
5 à 7.5 %	Permet un bon drainage de l'air froid, le risque d'érosion des sols augmente. On doit tenir compte de la pente pour le choix de l'orientation des rangs de vigne et de la machinerie.
7.5 à 10 %	Permet un excellent drainage de l'air froid, mais représente des risques sérieux pour l'érosion des sols et la perte de nutriments. On doit tenir compte de la pente pour le choix de l'orientation des rangs de vigne et de la machinerie.
10 à 15 %	Permet un excellent drainage de l'air froid. Présente de sérieux risques d'érosion des sols et de perte de nutriments. Non sécuritaire pour l'utilisation de la machinerie à moins d'aménager les parcelles en terrasses pour couper la pente. L'installation de mesures de contrôle du ruissellement incluant des fossés, des rigoles d'interception, des avaloirs et des tranchées filtrantes est fortement recommandée. Les rangs de vigne doivent être orientés perpendiculairement à la pente.
Plus de 15 %	Non recommandé à cause des risques liés à l'érosion des sols et l'utilisation de la machinerie.

### 3.4 Plans d'eau

La proximité de grandes nappes d'eau comme les lacs Champlain ou Saint-Pierre a pour effet de modérer les écarts de température dus à la chaleur spécifique très élevée de l'eau. En présence de couvert de glace cependant, cet effet s'estompe en hiver. La partie québécoise du lac Champlain (baie Missisquoi) par exemple, est peu profonde et gèle pendant l'hiver. Le lac ne peut donc pas y adoucir la température hivernale. Au Québec, le fleuve et l'estuaire du Saint-Laurent, la Baie-des-Chaleurs ou le Lac-Saint-Jean pourraient cependant tempérer les rigueurs du climat hivernal sans pour autant rencontrer les exigences requises pour la maturation optimale des raisins.

### 3.5 L'exposition aux vents

La circulation de l'air est importante dans un vignoble parce qu'elle permet le séchage plus rapide du feuillage et des grappes après la pluie, ce qui a pour effet de diminuer les risques associés au développement de maladies fongiques. Toutefois, l'exposition des vignes à des vents importants peut aussi avoir des effets néfastes sur la croissance et la productivité des vignes ainsi que sur la qualité des fruits. Le guide de bonnes pratiques pour la vigne du ministère de l'Agriculture de la Colombie-Britannique (BCMAL, 2006) mentionne que les vignes protégées par des brise-vent naturels ou artificiels ont un taux de débourrement plus important, des grappes plus grosses et un nombre plus important de baies par grappe. La qualité des fruits est aussi améliorée alors que le pH et le potassium des moûts sont plus faibles lorsque les vignes sont protégées par des brise-vent.

L'exposition des vignes à des vents forts ou même modérés durant la saison estivale augmente le taux d'évapotranspiration. Les feuilles sont souvent plus petites et déchirées, les pousses brisées, les grappes plus petites et la croissance latérale des pampres est accrue. Des vents de plus de 12 km/h causent la fermeture des stomates. Ces derniers peuvent mettre jusqu'à quatre jours avant de se rouvrir suite à un épisode de vent violent. Lorsque les stomates sont fermés, la photosynthèse est arrêtée ce qui a pour effet de stopper la croissance des vignes et la maturation des fruits (BCMAL, 2006). De plus, le vent complique les opérations de pulvérisation de produits phytosanitaires et augmente les risques de dérive des pesticides. Durant l'hiver, les vents froids balayent la couverture de neige et contribuent à réduire le bilan de chaleur d'un site ce qui a pour effet d'augmenter les risques de dommages occasionnés par le gel des tissus de la vigne.

### 3.6 Pondération des critères liés au paysage

Itami et coll. (2000) ont attribué 85 % de la pondération des critères liés au paysage relativement plat de l'Australie à l'inclinaison de la pente du site, alors que l'orientation du site s'est vue attribuer une contribution à la hauteur de 15 %. Magarey et coll. (1998) présentent des cartes de relevés topographiques et d'utilisation du territoire (périmètre urbain, forêt, etc.), mais ces dernières ne semblent pas avoir contribué à la pondération globale du potentiel viticole de l'état de New York.

Wolf et coll. (2008) dans leur étude sur l'évaluation du potentiel viticole du comté de Nelson en Virginie ont aussi attribué une pondération importante à l'élévation, la pente et plusieurs autres variables.

## 4. Le sol

Les meilleurs sols pour la culture de la vigne sont ceux qui permettent un enracinement profond et une alimentation modérée en eau (Vandal, 1986). Les sols compactés et fréquemment inondés, ou sujets à la sécheresse sont à éviter (Magarey et coll., 1998). En effet, les racines de la vigne supportent mal les sols mal aérés. Comme toutes les plantes, elles ont besoin d'un apport constant d'eau et de nutriments, mais un apport excessif en ces éléments nuit à la qualité de la récolte. La vigne requiert aussi beaucoup de chaleur pour produire des récoltes de qualité optimale.

Les propriétés du sol influencent la disponibilité de l'eau, de l'air et des nutriments pour les racines de la vigne. Ces propriétés sont largement déterminées par le matériel parental sur lequel le sol s'est développé et la position qu'il occupe dans le paysage (haut de pente, bas de pente). En pédologie, la série de sols est l'unité de base pour la classification des sols. Une série de sols correspond à une combinaison unique de propriétés, que lui confèrent le matériel parental et une classe de drainage, elle-même héritée de la position du sol dans le paysage. Ainsi, les rapports pédologiques produits au Québec comme ailleurs dans le monde classifient généralement les séries de sols sur cette base, en les regroupant par classe de matériel parental, puis en distinguant les séries de sols sur la base de leurs classes de drainage. On appelle *catena* l'association de séries de sols, qui partagent le même matériel parental, mais qui se distinguent au point de vue de leur drainage, en raison de leur position dans le paysage. Les caractéristiques morphologiques du profil d'une série de sols donnée (description des horizons, profondeur, textures, structures, marbrures, etc.) sont ainsi décrites dans les rapports pédologiques. Au Québec, on peut trouver les rapports pédologiques produits pour l'ensemble des régions agricoles sur le site Web de l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA) [www.irda/docs\\_web/etu\\_pedolo.aspx](http://www.irda/docs_web/etu_pedolo.aspx).



La précision et la fiabilité des cartes produites varient cependant d'une région à l'autre, reflétant les échelles originales d'acquisition des données sur le terrain (Gagné, 2010). Les rapports pédologiques demeurent néanmoins des outils précieux en appui à la détermination du potentiel viticole en fournissant d'importants indices quant aux roches mères et aux propriétés des séries associées aux différentes facettes du paysage. Compte tenu des échelles généralement petites des rapports pédologiques disponibles (1:20,000 et plus), l'étude du profil de sol sur le terrain demeure cependant indispensable dans l'évaluation d'un site donné. Weil (2008) décrit les techniques de caractérisation des profils de sol en milieu agricole dans le contexte pédologique propre au Québec.

#### 4.1 Profondeur du sol et de la roche mère

Les racines de la vigne peuvent pénétrer le sol très profondément, mais sont généralement concentrées en surface, là où la concentration en éléments nutritifs est plus élevée, et le sol mieux aéré. La profondeur du sol est particulièrement importante pour les *Vitis vinifera* tandis que les hybrides peuvent tolérer des sols moins profonds (Vandal, 1986). La profondeur du sol aura davantage d'impact sur la productivité et la pérennité des vignes puisque lorsque la récolte est diminuée, on remarque souvent que la qualité est augmentée. En effet, les vignes qui poussent sur des sols peu profonds sont plus chétives. Le feuillage moins abondant permet une meilleure exposition des raisins au soleil permettant à court terme, la production d'une faible récolte, mais de grande qualité (Smart et Robinson, 1992). Selon Jordan et coll. (1980), ce sont les caractéristiques du sous-sol qui devraient être considérées en premier lieu, lorsqu'il s'agit d'évaluer le potentiel viticole d'un site.

Les sols plus profonds permettent entre autres aux vignes de mieux résister aux sécheresses lorsqu'elles ne sont pas irriguées, comme la majorité, sinon la totalité des vignobles québécois. Suivant la consultation du rapport pédologique, il sera nécessaire de creuser et d'examiner le profil du sol afin de confirmer les propriétés en fonction de la profondeur. La consultation des cartes de dépôt meuble peut aussi fournir certains indices quant à la profondeur du sol (Source, MRNF). L'étude de la nature de la végétation naturelle peut aussi traduire la qualité du drainage d'un sol, lors de l'examen du site (Wolf et coll., 2008).

Selon Magarey et coll. (1998), la profondeur minimum du sol devrait être de 75 cm tandis que la profondeur optimale serait de 100 cm et plus. Jones et coll. (2004) estiment qu'un minimum de 64 cm est nécessaire pour la croissance des vignes dans les conditions sèches de l'Oregon. Selon Jordan et coll. (1980) des avantages additionnels seraient obtenus à des profondeurs de 150 à 180 cm. Dans le projet d'évaluation du potentiel viticole de l'État de New York, les sols ont été divisés en trois groupes, depuis le seuil minimum de 80 cm, au maximum de 120 cm. La nouvelle carte de Cornell University (2011) est toutefois moins sévère, les auteurs indiquent que le minimum acceptable est de 46 cm, mais mentionnent qu'un minimum de 76 cm est souhaitable. Les classes proposées sont reproduites au tableau 9.

**Tableau 9.** Profondeurs du sol minimum et optimal pour la culture de la vigne, proposées par l'Université de Cornell (2011).

Profondeur du sol (cm)	Classe dans la pondération
50	Minimum
50 à 80	Intermédiaire
≥ 80	Optimal

## 4.2 Drainage

Plusieurs auteurs décrivent les inconvénients d'un mauvais drainage sur la croissance, la productivité et la pérennité des vignes (Galet 2000, Wolf et al 2008, Vandal 1986, Pool 2000, Reynier 2005, Cornell). En effet, les racines de la vigne sont très sensibles à l'excès d'eau et ont besoin d'un sol bien aéré pour croître de façon optimale. La croissance des vignes qui poussent dans des sols gorgés d'eau, ou des sols qui sont très mal drainés, demeure faible. De plus, les vignes qui poussent dans des sols mal drainés ont souvent des problèmes d'acclimatation à l'automne (mauvais aoûtement) et il s'ensuit une faible résistance au froid et des dommages causés par le gel pendant l'hiver (Pool, 2000). Les blessures causées par le froid sont ensuite une porte d'entrée pour les maladies dégénératives comme l'*Agrobacterium vitis*. Au Québec on observe cette maladie assez régulièrement dans les vignobles.

Le drainage naturel du sol fait référence à la fréquence et la durée des périodes durant lesquelles le sol est complètement ou partiellement saturé d'eau dans des conditions naturelles, sans drainage artificiel souterrain ou irrigation. (AAC dans Weill 2008). Il est influencé par plusieurs facteurs, dont sa texture, la présence de couches imperméables, la pente du terrain et sa position dans le paysage. La structure du sol (compaction, drainage de surface) et la période de l'année (hauteur de la nappe phréatique) peuvent aussi avoir une influence sur la qualité du drainage.

Les classes de drainage proposées par le département de l'agriculture américain sont utilisées par plusieurs auteurs (Magarey et coll. 1998, Pool 2000, Jordan et coll. 1980, Wolf 2008) pour distinguer les sols qui conviennent à la vigne, au point de vue du drainage. Le tableau 10 résume les commentaires du Dr Pool (site Internet Cornell 2011) concernant la qualité du drainage du sol et son implication pour la vigne. Les sols qui conviennent le mieux à la vigne font partie de la classe des sols bien drainés. Les sols excessivement bien drainés sont aussi jugés excellents si l'irrigation est disponible. Les sols modérément bien drainés conviennent généralement bien, mais l'installation d'un système de drainage souterrain est souhaitable. Les sols qui font partie de la classe de drainage imparfait ne sont généralement pas recommandés à cause des coûts de drainage élevés. Les classes de drainage du système canadien de classification des sols (SISCan, 1982), similaires au système américain, se prêtent tout aussi bien à un exercice de classification du potentiel viticole pour les régions agricoles du Québec.

**Tableau 10.** Les classes de drainage et leur implication pour la vigne (adapté de Pool, Cornell 2011. et SISCan 1982).

Classe de drainage	Implication pour la vigne
Très rapidement drainé	Aération du sol excellente pour la croissance des racines. L'irrigation peut être nécessaire (très faible capacité de rétention en eau, 2.5cm/m, texture grossière ou sols peu profonds). La fertilité de ce type de sol est parfois réduite.
Rapidement drainé	Généralement excellents pour la vigne bien qu'ils peuvent présenter des problèmes d'alimentation en eau ou de fertilité. Excellents lorsqu'ils sont irrigués (capacité de rétention en eau 2.5 à 4.0 cm/m)
Bien drainé	Bon à excellent pour la vigne étant donné leur équilibre entre l'aération du sol pour les racines et l'alimentation suffisante en eau et en éléments nutritifs (capacité de rétention en eau de 4.0 à 5 cm/m)
Modérément bien drainé	Généralement bons, mais peuvent être mal aérés durant les périodes humides. Le drainage de ce type de sol est fortement recommandé. Au Québec, les sols classés dans cette catégorie n'ont généralement pas de <b>couleurs gris bleu ou de marbrure entre 80cm et 1m de profondeur</b> (capacité de rétention en eau de 5 à 6 cm/m, texture moyenne à fine)
Imparfaitement drainé	Non recommandés pour la vigne sauf s'ils sont drainés (drains rapprochés). Les coûts de drainage élevés en font une classe peu recommandable. L'eau en excès séjourne dans les horizons profonds (B et C) durant d'assez longues périodes ; présence de marbrures ou de couleurs gris bleu <b>à moins de 80 cm de profondeur (entre 50 et 80 cm de profondeur)</b> , textures variables
Mal drainé	Ne conviennent pas à la vigne
Très mal drainé	Ne conviennent pas à la vigne

Magarey et coll. (1998) abondent dans le même sens dans l'atlas du potentiel viticole de l'état de New York et recommandent que seuls les sols modérément bien drainés à bien drainés soient être retenus pour l'établissement d'un vignoble. Les sols à drainage imparfait pourraient être utilisés, mais doivent être drainés ce qui augmente les coûts d'implantation. Il est par ailleurs important de noter que le drainage souterrain (artificiel) permet d'évacuer les surplus d'eau sans toutefois modifier la capacité de rétention en eau. Il n'a donc pas pour effet d'augmenter les risques de sécheresse.

La conductivité hydraulique saturée ( $K_{sat}$ ) peut aussi être utilisée pour décrire la qualité du drainage du sol. Elle est une mesure de la perméabilité du sol. Elle varie de très lente (0.15 cm/h) à très rapide (50 cm/h) (Weill 2008). Wolf et al. (2008) suggèrent de retenir seulement les sols dont la vitesse d'infiltration est de plus de 5 cm/h (2 po/heure) en condition humide.

### 4.3 Eau disponible

Bien que la qualité du drainage soit un critère extrêmement important pour évaluer le potentiel viticole d'un sol, le sol doit aussi assurer l'alimentation suffisante et régulière de la vigne durant la saison de croissance de celle-ci. L'excès d'humidité du sol favorise par ailleurs une vigueur excessive des plants de vigne au détriment de la qualité des fruits. Le feuillage dense crée des conditions favorables au développement de plusieurs maladies fongiques en plus de réduire l'exposition des baies au soleil. Les raisins sont généralement plus acides et leurs arômes sont dilués. Les raisins ont tendance à fendre lorsqu'ils sont gorgés d'eau et deviennent ainsi sensibles à la pourriture. Idéalement, l'alimentation en eau devrait viser à ralentir la croissance vers la fin juillet et l'arrêt de la croissance au début du mois d'août pour la période de véraison. À l'inverse, la sécheresse diminue la croissance de la vigne, réduit les rendements et peut nuire au mûrissement optimal des fruits.

En condition de champ, la distribution des précipitations étant irrégulière et imprévisible, on recherchera des sols qui ont une réserve d'eau utile (capacité de rétention en eau) modérée.

Tout comme la profondeur du sol, l'importance de la réserve d'eau utile du sol réside dans le fait qu'elle permet aux vignes de mieux résister au manque d'eau lorsque surviennent des périodes de sécheresse. Pour cette raison, il est souhaitable de trouver un compromis entre la rapidité du drainage et la réserve d'eau utile du sol.

En science du sol, l'*eau disponible* exprime la quantité d'eau disponible au prélèvement par les racines des cultures. Cette quantité d'eau est représentative du volume d'eau retenu par le sol entre le point permanent de flétrissement et l'état stationnaire du sol après le ressuyage, aussi appelé capacité au champ. (Gallichand, 2010). L'eau disponible est exprimée en cm/m de sol et est proportionnelle à sa profondeur et est aussi influencée par la texture et le taux de matière organique. Dans les sols, la teneur en eau disponible varie généralement de moins de 2.5 à 6 cm/m de sol et demeure étroitement associée à la classe de drainage (tableau 10).

La mesure de la réserve d'eau utile peut être effectuée à partir d'échantillons prélevés au moyen de cylindres représentatifs d'un volume prédéterminé. Après saturation, les cylindres de sol sont soumis à des niveaux de succion contrôlés et représentatifs de la capacité au champ du sol et du point de

flétrissement. Ces protocoles de mesure sont généralement bien établis à l'échelle internationale (Blake 1965). Le taux d'humidité à la capacité au champ peut être estimée par le prélèvement des échantillons 24 heures suivant une précipitation abondante. De façon plus générale, la rétention en eau est estimée sur la base de modèles exprimant la hauteur d'eau utile sur la base de la texture du sol, de la teneur en matière organique et de la profondeur des horizons de sol.

Barbeau et coll. (1998) ont développé un indice de précocité pour la véraison afin de déterminer les sites les mieux adaptés aux différents cépages dans la vallée de la Loire (France). Ils ont conclu que les sites qui obtenaient les valeurs les plus élevées (maturité précoce) étaient typiquement les sites où le sol était sablonneux ou graveleux tandis que les sols argileux ou loameux moins bien drainés obtenaient les valeurs les moins élevées (maturité tardive). Ainsi, il serait opportun, dans une perspective de classification du potentiel viticole au Québec, d'accorder un potentiel plus élevé aux sols à texture grossière parce qu'ils permettent de rencontrer trois critères importants pour la vigne soit la rapidité de drainage, une réserve d'eau utile modérée et un réchauffement rapide.

#### 4.4 Acidité

Le pH du sol est important parce qu'il influence la disponibilité des nutriments dans le sol, voire la toxicité de certains éléments. En effet, dans les sols où le pH est acide, la disponibilité de l'aluminium augmente et restreint le développement des racines tandis que le bore (un élément important pour la vigne) et le phosphore sont moins disponibles. Le laboratoire de l'Université de Cornell recommande de cibler un pH de 5.5 pour les Labrusca, un pH de 6 pour les hybrides et un pH de 6.5 pour les *Vitis vinifera* qui tolèrent mal les sols acides. En France, Reynier (2005) et Delas (2000) recommandent de viser 6.5 pour l'implantation du vignoble (pH d'implantation) et de corriger par la suite (pH d'entretien) lorsque le pH est inférieur à 6. À l'implantation du vignoble, le pH du sous-sol devra aussi être considéré (Delas 2000). Bien que le pH du sol soit relativement facile à corriger par des applications de chaux, la correction d'un sous-sol acide est pratiquement impossible à réaliser. De plus, les sols dont les pH sont inférieurs à 4.5 requièrent des quantités importantes de chaux qui peuvent limiter l'implantation. Le tableau 11 résume les commentaires de Dr. Terry Bates de l'Université de Cornell sur le pH du sol et son influence sur le potentiel d'un site.

**Tableau 11.** Influence du pH du sol sur la croissance de la vigne et son alimentation en éléments minéraux. Adapté de Bates, Cornell (2011)

Valeur du pH du sol	Commentaires
< 4	Requiert une grande quantité de chaux et probablement des amendements en matière organique avant de convenir à la vigne
4 à 5.5	Faible. Risque de toxicité par l'aluminium. Nuit à la croissance des racines et au

	prélèvement d'éléments nutritifs. Réduit la croissance végétative et la productivité des vignes. Peut être détecté lors de l'analyse des pétioles par des faibles valeurs d'éléments nutritifs sans que les vignes ne démontrent des symptômes de carence. Le pH du sol doit être corrigé par des apports de chaux et on peut considérer l'utilisation de porte-greffes qui tolèrent les pH acides.
5.5 à 6.5	Optimal à presque optimal pour la majorité des cépages. Le prélèvement d'éléments nutritifs varie d'un cépage à l'autre particulièrement pour Mg, K et P. L'utilisation des analyses de pétioles permet de détecter l'alimentation insuffisante en ces éléments. De petits apports de chaux et de fertilisants permettent de corriger les problèmes assez facilement.
> 6.5	Les <i>Vitis vinifera</i> sont plus tolérants aux pH élevés. La disponibilité élevée du Mg et du calcium peut nuire au prélèvement du potassium et causer des chloroses ferriques. Les analyses de pétioles sont fortement recommandées afin de vérifier l'alimentation suffisante en K et autres éléments et de corriger par l'apport de fertilisants au besoin. Le soufre peut être utilisé pour acidifier le pH du sol.
> 7.5	Élevé pour la majorité des cépages. L'utilisation de porte-greffe tolérant l'alcalinité est souhaitable. Il faut surveiller l'équilibre K/Mg de même que l'alimentation en P et en éléments mineurs

## 4.5 Fertilité

S'il est relativement facile d'ajouter des éléments minéraux et de la matière organique pour augmenter la fertilité du sol, il est beaucoup plus difficile d'en enlever. Une fertilité trop élevée induit une vigueur excessive et des problèmes d'aoûtement. Le taux optimal de matière organique dans le sol se situe généralement autour de 2 à 4 %. Le tableau 12 résume les seuils minimum et maximum de matière organique selon Pool (2000).

**Tableau 12.** Influence sur la vigne du taux de matière organique contenu dans le sol. Adapté de Pool, 2000.

<b>% matière organique</b>	<b>Influence pour la vigne</b>
< 1 %	Trop faible. Il est nécessaire de compenser par des apports d'amendements et de fertilisants importants.
1-2 %	Seuil minimum. Le sol doit être amélioré par des composts ou paillis et de grandes quantités de fertilisants
2-4 %	Optimal. La fertilité des sols est généralement adéquate sans être excessive.
> 4 %	À éviter pour le raisin de cuve. Peut convenir au raisin de table.

En résumé, la vigne est une plante peu exigeante au niveau du sol, mais les sols qui se drainent et se réchauffent rapidement, qui sont peu à moyennement fertiles, lui conviennent mieux.

#### **4.6 Pondération des critères hydro-pédologiques**

Le tableau 13 détaille la pondération des critères qui ont servi à construire la carte du potentiel viticole des sols de l'état de New York. Globalement, 40 % de la pondération des critères hydro-pédologiques a été attribuée à la qualité du drainage, tandis que la capacité de rétention en eau (eau utile), la profondeur au roc ainsi que le pH du sol ont chacun contribué pour 20 % de la pondération. Il est intéressant de constater que Jones et coll. (2004) ont retenu les mêmes critères pour évaluer le potentiel viticole de l'Oregon et ont attribué la même importance auxdits critères. Dans l'état de New York, la classification des groupes hydrologiques du sol est utilisée dans l'évaluation du critère de drainage. Seuls les sols des groupes hydrologiques A et B, représentatifs de classes de drainage bon à modéré, ont été retenus. Ainsi, plus le drainage du sol est bon plus le potentiel viticole du site augmente (Magarey et coll. 1998). La carte du potentiel viticole de l'état de New York présente le % de sols faisant partie des classes de drainage bon à modéré.

**Tableau 13.** Pondération des critères qui ont servi à construire la carte du potentiel viticole des sols de l'État de New York (adapté de Magarey et coll. 1998)

<b>Carte</b>	<b>Seuil minimum</b>	<b>Seuil maximum</b>	<b>Nombre de classes</b>	<b>Pourcentage de la pondération</b>
Drainage (bon ou modéré)*	0	100	5	40
Capacité de rétention en eau	0	45	5	20
Profondeur au roc	80cm	120cm	3	20
pH**	5	7.3	3	20

\*Pourcentage des unités de grille dans les classes « bien drainé » ou « modérément bien drainé ».

\*\*Les 3 classes de pH sont i) moins de 5; ii) entre 5 et 6 ; et iii) entre 6 et 7.3.

Il n'y a pas de sol plus alcalin que 7.3 dans l'état de New York.

Pour Wolf et coll. (2008), le drainage du sol, sa texture et sa profondeur sont parmi les propriétés les plus importantes pour évaluer le potentiel d'un sol pour l'établissement d'un vignoble. L'importance de ces propriétés tient principalement au fait qu'elles peuvent difficilement être modifiées. La capacité de rétention en eau, la fertilité et le pH du sol sont aussi des caractéristiques importantes, mais peuvent dans une certaine mesure être améliorées.

En Australie, Itami et coll. (2000) ont accordé autant d'importance à la salinité du sol qu'au drainage, alors que ces deux critères comptent également pour 18 % dans la pondération du facteur sol. La profondeur du sol est cependant le facteur prépondérant dans l'évaluation de la qualité d'un site, puisqu'il compte à lui seul pour 50 % du facteur sol.



## 5. Indexation multicritères

L'indexation du potentiel viticole d'un site de production implique la prise en considération, puis la pondération, des influences liées au climat, au paysage et aux propriétés des sols. L'importance relative accordée aux différents facteurs et rapportée dans la littérature varie d'une région du monde à l'autre. L'importance apportée au facteur climatique, relativement aux critères hydro-pédologiques, est proportionnelle à la variabilité du climat dans la zone à l'étude, et bien sûr sa rigueur. Dans l'Est de l'Amérique du Nord, le site doit d'abord rencontrer les exigences au niveau climatique. Une fois que le site satisfait les exigences climatiques de base, la qualité du sol peut être évaluée. En Australie, le poids relativement peu élevé accordé au climat (20 %) dans la pondération globale du potentiel viticole reflète des conditions climatiques clémentes, notamment aux égards des minima de température, dans l'ensemble du pays. En Ontario, la zone de production fruitière a été caractérisée essentiellement selon le risque de gelée printanière tardive et automnale hâtive.

Compte tenu de la rigueur du climat québécois, le facteur climatique devrait certainement occuper une place prépondérante dans la grille d'évaluation du potentiel viticole. Toutefois, la protection des vignes par le buttage ou les toiles géotextiles, de même que la rusticité des cépages devront aussi être prises en compte.

## 6. Bibliographie

1. Barbeau, G., R. Morlat, C. Asselin, A. Jacquet, et C. Pinard. 1998. Comportement du cépage Cabernet Franc dans les différents terroirs du val de Loire. Incidence de la précocité sur la composition de la vendange en année climatique normale (exemple de 1998). *Journal International de Science de Vigne et du Vin* 32 :69-81.
2. Barriault, E. et Gosselin, M-P. 2010. Le gel printanier et les méthodes de protection. Bulletin d'information no.2 Ordre générale. réseau d'avertissement phytosanitaire agrireseau. <http://www.agrireseau.qc.ca/Rap/documents/b02gen10.pdf>
3. British Columbia Ministry of Agriculture and lands AND bc Wine Grape Council. 2006. Best practices guide for grapes. Victoria, British Columbia. 222p.
4. Blake, G. R. 1965. In: C.A. Black (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Properties, Including statistics of Measurement and Sampling*. ASA-SSSA, Agronomy Monograph 9: 374-390.
5. Cornell University. 2011. Vineyard Site Evaluation. Site internet consulté le 13 juin 2013. <http://arcsrvr2.iagt.org/vll/data.aspx>.
6. Davis, R.R. et coll. 1984. Atlas of suitable grape growing location in BC. Agriculture and Agrifood Canada. Site Internet consulté le 26 août 2013. <https://a100.gov.bc.ca/pub/acat/public/viewReport.do?reportId=25881>
7. Deureude, J. et coll. 1993. Réponse de la vigne aux températures inférieures à 0°C, *Agronomie* 13(6) : 509-514.
8. Delas, J. 2000. Manuel de fertilisation de la vigne. Ed Féret. Paris, France. 159p.
9. Doucet, 1992. Le climat et les sols agricoles. Éd. Berger. Eastman, Qc. 443p.
10. Dry, P.R. et R.E. Smart, 1988. Vineyard site selection. In *Viticulture* Coombe, B.G. and Dry, P.R. Editors. Winetitles Adelaide.
11. Fisher, K.H., K. Slingerland, Bihari, D., et B. Steiss. 2009. Site Selection for Grapes in the Niagara Peninsula : Niagara Grape Climatic Zones. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Vineland Resource Center.
12. Gagné, G. 2010. Le sol, chapitre 1 du guide de référence en fertilisation 2<sup>e</sup> éd. CRAAQ. Qc. 473p.
13. Galet P. 2000. Précis de viticulture. 7e éd. , Déhan, Montpellier, 602p.
14. Galichand, J. 2010. La gestion de l'eau et du profil cultural, chapitre 4 p. 111 du guide de référence en fertilisation 2<sup>e</sup> éd. CRAAQ. Qc. 473p.
15. Geoff Heinricks, 2001. Starting a vineyard in Prince Edward County? A viticulture primer for Investors & growers. EC Economic development office Ed. 110p.

16. Gladstone, J. 2000. Past and future climatic indices for viticulture. Proceeding of the 5th international symposium for Cool Climate Viticulture and Oenology, Melbourne, Australia.
17. Itami, R. M., J. Whiting, K. Hirst, and G. Maclaren. 2000. Use of analytical hierarchy process in coll climate GIS site selection for wine grapes. Proceedings 5<sup>th</sup> International Symposium on Cool Climate Viticulture and Oenology, Section 1B Climate and Crop Estimation, pp. 1-8. Adelaide: Australien Society of Viticulture and Oenology.
18. Jolivet Y., Dubois J-M.M. and Granberg. 1999. Évaluation de l'efficacité du cône de polyester et de la toile géotextile comme méthodes de protection de la vigne contre les gels tardifs printaniers au Québec pour les petites exploitations et pépinières. *J. Int.Sci. Vigne Vin.* 33 (3): 99-104.
19. Jones, G. V., N. Snead, P. Nelson. 2004. Geology and Wine 8. Modeling Viticultural Landscapes: A GIS Analysis of the Terroir Potential in the Umpqua Valley of Oregon. *Geoscience Canada.* 31(4):167-178.
20. Jordan T.D. Pool, R.M. Zabadal, T.J. et J.P. Tomkins. 1980. Cultural practices for commercial vineyards, NY State College of agriculture and life sciences. *Misc Bulletin* 111.
21. Kanizhadeh, S. 2001, Effet de différents facteurs culturels et environnementaux sur la croissance, la rusticité et le rendement des vignes dans trois localités au Canada.
22. Magarey, R. D. R.C. Seem, S.D., DeGloria 1998, Prediction of vineyard site suitability: *Grape Research news*, v.9, no1p1 et 2
23. Magarey, R. D. R.C. Seem, S.D., DeGloria. 1998. Vineyard site selection in NY State; Site Internet consulté le 12 juillet 2010.  
<http://www.nysaes.cornell.edu/pp/faculty/seem/magarey/>
24. Plocker T. et B. Parker. 2001. Northern Winework, Growing grapes and making wine in cold climates. Northern winework ed. Minnesota. 178p.
25. Pool, Robert. 2000. Factors affecting Vineyard Site Suitability in cold climates such as found in New York State 6p. Site internet consulté le 12 juillet 2010.  
<http://arcsver2.iagt.org/vll/learnmore.aspx>
26. Poling, E. Barclay. 2008. Spring Cold Injury to Winegrapes and Protection Strategies and Methods». *Hortscience*, vol 43, no. 6, p.1652-1661.
27. Reynier Alain. 2005. Manuel de viticulture 9e édition. Éd. TEC & DOC. Paris, France. 554p.
28. Sayed, H.A. 1992. Vineyard site suitability in Ontario. *Horticultural Society Proceeding.* 115: 288-294
29. Seguin, G. 1986. 'Terroirs' and pedology of wine growing. *Experientia* 42:861-873.
30. Smart R. & M. Robinson. 1992. Sunlight into wine, a handbook for winegrape canopy management. Winetitles Pty Ltd. Australia. 88p.

31. SISCan. 1982. Manuel de description des sols sur le terrain. Système d'information des sols au Canada. Institut de recherche sur les terres. Comité d'expert sur la prospection pédologique. Ottawa.
32. Stergio et Howell 1977. Effect of site on cold acclimation and deacclimation of concord grapevine Am. J. Enol. Vitic. Vol 28(1): 43-48;
33. Stetsenko, V.M. 1978. Winter protection for grapevines. Résumé dans Horticultural Abstracts 46 (1976) : 388.
34. Vandal, J.O 1986. La culture de la vigne au Québec Ed. 143p.
35. White Robert, E. 2003. Soils for fine wines. Oxford University Press. United Kingdom. 279 p.
36. Weil, A. 2008. Les profils de sol agronomiques, un outil de diagnostic de l'état des sols. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec. 132p
37. Wolf, Tony K. et coll. 2008. Wine Production Guide for Eastern North America. Tony K. Wolf Ed., Virginia Tech, Ithaca, New York. 336p.
38. Wolf, Tony K. et D. Boyer. 2003. Vineyard Site Selection. Virginia Cooperative Extension. Publication 463-020. 32p. Site internet consulté le 26 août 2013. <http://pubs.ext.vt.edu/463/463-020/463-020.html>
39. Zabadal, T.J., I.E. Dami, M.C. Goffinet, T.E.Martinson, M.L. Chien. 2007. Winter Injury to Grapevines and Methods of protection. Michigan State University Extension. Extension Bulletin E-2930. 105 p.
40. Zabadal, T.J., J.A. Andresen. 2004. Vineyard Establishment I, Preplant Decisions. Michigan State University Extension. Extension Bulletin E-2644. Reprinted May 2004. 23 p.
41. Zabadal, T.J. 1997. Vineyard Establishment II, Planting and Early Care of Vineyards. Michigan State University Extension. Extension Bulletin E-2645. 39 p.