



Guide des bonnes pratiques d'économie d'eau potable en irrigation

1^{ère} ÉDITION | JUILLET 2022

IRRIGATION
Q U É B E C

 **québecvert**
environnement

ÉDITION

Éditeur : Québec Vert
3230 rue Sicotte, local E-300 Ouest
Saint-Hyacinthe (Québec) J2S 2M2
Tél. : 450 774-2228
[renseignement@quebecvert.com]

RÉDACTION :

Rédaction : Normand Cossette, ingénieur et agronome, spécialiste en réhabilitation

Édition du document : Luce Daigneault, M. Sc., agr

Révision linguistique : Nathalie Thériault

COMITÉ DE TRAVAIL :

Simon Bédard, Irriglobe Irrigation

Christian Brunet, Hydralis

Serge Bujold, Irrigation et Éclairage MS inc.

Jean-François Charron, Irrigation Charron

Simon Chrétien, Horizon Agrobiotech inc.

Jean-Sébastien Lamoureux, Les Systèmes d'arrosage JSL

Carl Parisien, Les Produits Turf Care Canada ltée

Samuel Poirier, irrigation Memphré inc.

Larry Welch, Irrigation & Éclairage de la Capitale inc.

Marilyne Désy, Association Irrigation Québec

Laure Rodriguez Vigouroux, Association Irrigation Québec

Luce Daigneault, Québec Vert

DIRECTION ARTISTIQUE :

Agente de communication : Maryline Désy

Révision artistique : Nathalie Deschênes, B.A.A., M. Sc.

Graphiste : VILLA infographie design



Le développement de la certification O'Certification environnementale (OCE), ainsi que la production de ce guide ont été financés par le ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) dans le cadre de la Stratégie d'économie d'eau potable 2019-2025, et par Québec Vert, la communauté du végétal et du paysage.

Québec Vert, Première édition, juillet 2022
Dépôt légal. Bibliothèques nationales du Québec et du Canada
ISBN : 978-2-9818887-4-7 [PDF]

Pour toutes les questions relatives au contenu de ce document : [renseignement@quebecvert.com].

Tables des matières

| | |
|---|-----------|
| O'Certification environnementale : plus d'économie d'eau potable en irrigation | 5 |
| Un guide pour économiser l'eau potable en irrigation | 6 |
| 1. Pourquoi irriguer ? | 7 |
| 2. Le climat au Québec et son impact sur les besoins en irrigation | 8 |
| 3. L'influence des espaces urbains, des régions rurales et agricoles dans le contexte territorial, géomorphologique et bioclimatique du Québec | 10 |
| 4. Quelques notions sur l'évapotranspiration | 11 |
| a) l'évapotranspiration réelle ET_r | 11 |
| b) l'évapotranspiration potentielle ET_p | 11 |
| c) l'évapotranspiration de référence ET_o | 11 |
| 5. Points de flétrissement temporaire et permanent – le sol vu comme un réservoir d'eau | 13 |
| 5.1 La tension de l'eau dans les sols | 13 |
| a) un sol saturé | 13 |
| b) un sol à la capacité au champ | 14 |
| 5.2 L'eau dans les végétaux | 14 |
| a) le point de flétrissement temporaire | 14 |
| b) le point de flétrissement permanent | 14 |
| 6. La notion de porosité de drainage d'un sol | 16 |
| 7. Les nombreuses stratégies des plantes pour obtenir de l'eau | 18 |
| 8. Les périodes où les plantes sont les plus vulnérables au manque d'eau | 19 |
| 9. Pourquoi et comment minimiser les besoins en eau d'irrigation ? | 20 |
| 9.1 L'eau potable n'est pas une ressource gratuite | 20 |
| 9.2 Nouvel aménagement ou jardin mature : deux contextes très différents | 20 |
| 9.3 Choisir un mode d'irrigation efficient | 21 |
| 10. Propriétés et sources de l'eau utilisée pour l'irrigation | 22 |
| 10.1 Les propriétés physico-chimiques et bactériologiques acceptables | 22 |
| 10.2 Considérations techniques, environnementales et sociales associées aux sources d'eau | 23 |
| a) l'aqueduc municipal | 23 |
| b) l'eau souterraine, à partir de la nappe phréatique. Puits de surface et étangs d'irrigation. | 24 |
| c) l'eau souterraine, à partir de nappes aquifères peu profondes ou profondes (substratum rocheux) | 24 |
| d) l'eau de pluie | 24 |
| e) les eaux de ruissellement | 25 |
| f) l'eau « issue » du principe Rejet « 0 » | 25 |
| g) l'eau prélevée dans un lac ou un cours d'eau | 25 |
| h) les eaux grises | 25 |
| i) l'eau de mer | 25 |
| j) l'eau du contre-lavage (« backwash ») de piscine | 25 |
| k) eaux d'exhaure ou de dénoyage des exploitations minières et des carrières de matériel granulaire | 26 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 10.3 | Un cas vécu en Montérégie, dans une banlieue-dortoir : la récupération des eaux de pluie infiltrées dans le sol en aménageant un puits de surface | 26 |
| a) | fiche technique de ce projet | 27 |
| b) | mesures de sécurité importantes | 28 |
| c) | quelques commentaires | 28 |
| d) | cas particulier d'un puits de surface aménagé dans un sol sablonneux ou caillouteux | 28 |
| 11. | Conception des systèmes d'irrigation horticole | 30 |
| 11.1 | Quelques notions indispensables | 30 |
| a) | l'hydrodynamique | 30 |
| b) | la texture des sols | 31 |
| c) | Comprendre les sols en milieux urbains et apprendre à les voir selon 4 axes d'analyse | 34 |
| d) | Les travaux d'infrastructures urbaines | 37 |
| e) | L'analyse du site et le relevé de terrain | 38 |
| 11.2 | Les éléments influençant la conception d'un système d'irrigation horticole | 39 |
| a) | effectuer le zonage des circuits d'arrosage en fonction de l'aménagement paysager existant ou à venir | 39 |
| b) | tenir compte de l'évapotranspiration de référence | 40 |
| c) | établir le niveau de performance utile, nécessaire et suffisant | 40 |
| d) | confirmer le niveau d'automatisation souhaité par le client | 40 |
| e) | déterminer le budget disponible pour faire le projet et pour son entretien | 40 |
| 11.3 | Les réglementations et normes influençant la conception d'un système d'irrigation horticole | 41 |
| a) | Les règlements municipaux sur l'eau potable | 41 |
| b) | Le devis-type de l'Association Irrigation Québec | 41 |
| c) | Norme BNQ 0605-500-V/2019 R1 à la Section V, aux pages 83 à 104, PDF 109/238 à PDF 130/238 | 41 |
| 12. | Les types d'installations | 42 |
| 12.1 | Les critères de choix du matériel | 42 |
| a) | les tuyaux | 42 |
| b) | les raccords | 42 |
| c) | les vannes, valves et électrovannes | 43 |
| d) | les pompes | 43 |
| e) | les appareils d'arrosage | 43 |
| 12.2 | Les critères de coût du matériel | 43 |
| 12.3 | Irrigation manuelle ou automatisée ? | 45 |
| 12.4 | Aspersion ou micro-irrigation ? | 45 |
| 13. | Rodage, utilisation et optimisation d'un système d'irrigation | 46 |
| 13.1 | Limiter les besoins en adaptant l'irrigation aux conditions d'ensoleillement, au stade végétatif et aux conditions saisonnières | 46 |
| 13.2 | Contrôler la consommation d'eau | 46 |
| 13.3 | Fractionner l'apport d'eau en fonction de la capacité d'infiltration de l'eau dans les sols | 46 |
| 13.4 | Mettre en place une sécurité passive pour éviter le gaspillage d'eau | 47 |
| 14. | L'entretien préventif des systèmes d'irrigation | 48 |
| 14.1 | Au printemps | 48 |
| 14.2 | Durant l'été | 48 |
| 14.3 | Avant l'hiver | 48 |
| 15. | Deux suggestions à l'attention des municipalités | 49 |
| | Références bibliographiques | 50 |



O'Certification environnementale : plus d'économie d'eau potable en irrigation

Québec Vert, en partenariat avec l'Association Irrigation Québec (AIQ), a reçu en 2019 une aide financière du ministère des Affaires municipales et de l'Habitation, dans le cadre de la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable 2019-2025, afin de développer une certification environnementale pour le secteur des professionnels de l'irrigation.

O'Certification environnementale (OCE) a été développée, entre autres, à partir de la certification de l'AIQ, des normes BNQ, des bonnes pratiques environnementales en irrigation et du développement d'un logiciel d'audits de performance écoresponsable des systèmes d'irrigation résidentiels et commerciaux. Les professionnels pourront ainsi effectuer des audits sur le terrain afin de déterminer la consommation actuelle et l'économie potentielle d'eau potable chez les résidents et commerçants.

O'Certification environnementale (OCE) devient un outil concret pour les municipalités afin d'agir sur la problématique de l'économie d'eau potable. Après avoir reçu de la formation en lien avec les informations contenues dans ce *Guide des bonnes pratiques d'économie d'eau potable en irrigation*, et l'utilisation judicieuse du logiciel OCE, les entreprises pourront obtenir leur O'Certification environnementale et ainsi contribuer à l'économie d'eau potable aux niveaux résidentiel et commercial dans les municipalités.

Un guide pour économiser l'eau potable en irrigation

Depuis trois ou quatre décennies déjà, les Nord-Américains sont de plus en plus conscients de l'importance cruciale de mieux utiliser l'eau et de mettre fin au gaspillage de l'eau douce, une ressource rare au niveau mondial, mais particulièrement abondante au Québec. Chanceux de pouvoir jouir de toute cette eau, les Québécois peuvent même dire que l'eau douce est l'or bleu du Québec.

Selon le Gouvernement du Québec, « Dix pour cent du territoire du Québec est recouvert d'eau douce. Avec ses 4 500 rivières et son demi-million de lacs, le Québec possède 3 % des réserves en eau douce renouvelable de la planète, et 40 % de toute cette eau se concentre dans le bassin hydrographique du Saint-Laurent! ».

Cette abondance d'eau, ancrée dans notre histoire collective, est sans doute la raison pour laquelle des citoyens banalisent ou ignorent les appels à la modération lancés été après été par toutes les municipalités du Québec pour remédier aux problèmes d'approvisionnement en eau potable. Il est inutile de jouer à l'autruche : qu'on le veuille ou non, la réalité rattrape la société québécoise à vitesse grand V. Avec le réchauffement climatique mondial et les volumes de prélèvement d'eau douce continuellement à la hausse à cause des activités humaines, la gestion raisonnée et mesurée de l'eau douce doit faire de plus en plus partie intégrante des habitudes comportementales, au risque d'engendrer à terme des pénuries graves, elles-mêmes pouvant dégénérer en conflits régionaux et territoriaux ou pire, en *casus belli* (acte pouvant motiver une déclaration de guerre de la part d'un gouvernement). Sans compter les dommages infligés aux écosystèmes, ceux-là mêmes qui procurent gîte et nourriture aux biocénoses, c'est-à-dire à l'ensemble des êtres vivants dans un lieu donné, et sans lesquels l'humanité courrait vite à sa perte.

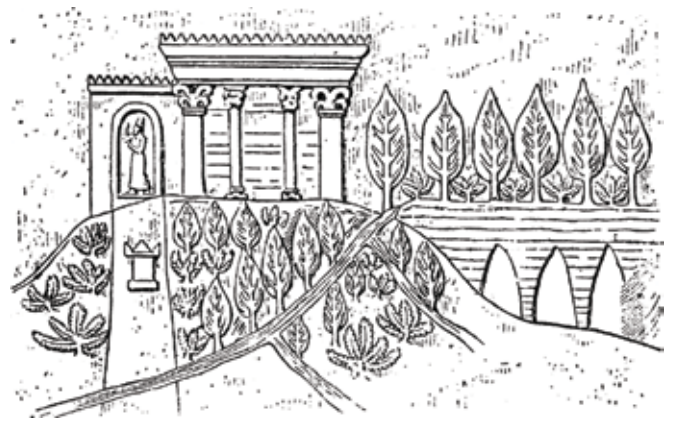
La pratique du jardinage n'a cessé de gagner en popularité depuis une quarantaine d'années, de même que cette volonté d'embellir ce bout de terrain qui entoure sa demeure. On peut appeler ça du jardinage, de la permaculture urbaine, de l'horticulture ornementale ou à la limite la « mise en valeur des espaces verts », mais qu'importe : là où il y a des plantes, il y a toujours un besoin en eau.

Ce guide va tenter de mieux définir la manière d'arroser en utilisant juste la quantité d'eau requise, quand il le faut, là où il le faut, et de la bonne façon. Pour alléger les casse-têtes que doivent affronter chaque été les gestionnaires d'usines de purification d'eau potable, l'objectif central de ce Guide sera de réduire au maximum l'usage d'eau potable pour l'irrigation horticole. Nous évoquerons du même coup la possibilité d'éviter tout arrosage une fois franchie la période d'implantation des végétaux. Une approche « zéro irrigation », souvent possible dans notre climat, une fois la période d'établissement complétée.

1. Pourquoi irriguer ?

L'irrigation est une invention humaine, tout comme l'agriculture. En effet, le règne végétal se débrouille très bien sans les humains et à peu près toutes les surfaces continentales, même les plus inhospitalières, abritent une forme ou une autre de végétation, si petite soit-elle. Alors, pourquoi avoir inventé l'irrigation ?

D'abord pour des raisons alimentaires, afin de régulariser les récoltes et augmenter les rendements. On peut observer les premières traces d'irrigation il y a plus de 8 000 ans dans les piémonts du sud Zagros (Iran) (réf. 16, page 141). Ce n'est que récemment, avec l'apparition des matériels d'aspersion modernes (réf. 15, page 5), vers les années 1930, que les Occidentaux ont commencé à irriguer certains espaces verts sur une grande échelle, une pratique qui s'est depuis popularisée un peu partout dans le monde, en particulier sur les terrains de golf construits depuis une soixantaine d'années. En termes historique, s'il est vrai qu'il y a des exceptions, parfois très anciennes, par exemple les célèbres Jardins suspendus de Babylone (réf. 4), en règle générale on a d'abord et avant tout utilisé l'irrigation pour des raisons alimentaires, pour garantir de bonnes récoltes.



Bas-relief découvert au lieu-dit de Ninive, capitale de ce qui fut l'Assyrie, montrant les Jardins de Babylone ou Jardins de Ninive

SOURCE : WWW.WIKIPEDIA.ORG

L'Empire romain est célèbre pour ses aqueducs, qui servaient principalement à transporter l'eau douce par gravité vers les centres urbains. Mais ils ont construit aussi des ouvrages de retenue d'eau imposants, tel le barrage de *Cornalvo* érigé en Espagne vers l'an 25 av. J.-C., d'une hauteur de 12 à 19 mètres, toujours fonctionnel en 2022 ! Il servait (et sert toujours) entre autres utilisations à l'irrigation des cultures avoisinantes (réf. 30, pages 215 et 216).

Alors la question se pose : aujourd'hui, au XXI^e siècle, sur le vaste territoire québécois, pourquoi irriguer un espace vert ou un aménagement paysager ? La réponse à cette question n'est pas aussi fastidieuse qu'on pourrait le croire. C'est avant tout pour fournir l'eau nécessaire aux plantes pendant leur période d'établissement et cela inclut bien sûr les nouvelles pelouses, les fleurs annuelles, plantes vivaces, arbres, arbustes et autres végétaux récemment transplantés. D'autre part, l'irrigation est parfaitement justifiée pour aider certains végétaux soumis à des stress physiologiques importants. C'est le cas, par exemple, des aires de jeux gazonnées qui ne survivraient pas au piétinement sans un apport d'eau appliqué au moment opportun, ou encore des plantes poussant en bacs ou dans des volumes de sols restreints, arbres de rue notamment, qui risqueraient de cuire au soleil si on ne les arrosait pas. De manière non limitative, on peut ajouter à cette liste les murailles et toitures végétalisées et évidemment les plantes et arbres en pots, en mottes ou en caissettes.

Afin de mieux comprendre ce qu'est l'irrigation, de mieux connaître les paramètres qui permettent de bien concevoir un système d'arrosage et de l'utiliser à bon escient, de manière raisonnée, on doit prendre en compte un grand nombre d'informations, parmi lesquelles le concept d'évapotranspiration ou *ÉT* y occupe une place centrale.

2. Le climat au Québec et son impact sur les besoins en irrigation

La Carte des aperçus de l'ÉT₀ (Évapotranspiration indice zéro) ou l'ÉT_{réf} (Évapotranspiration de référence) au Québec, telle que calculée par la méthode de Thornthwaite, présente les pluies moyennes hebdomadaires du mois de juillet telles qu'enregistrées entre les années 1961 et 1990. La valeur d'évapotranspiration maximale (ÉT_{max}) hebdomadaire, calculée selon une méthode aujourd'hui désuète, est également indiquée. On voit que cette ÉT_{max} hebdomadaire varie de 25 mm à 32 mm par semaine au mois de juillet. Ces données sont déjà un bon point de départ, si on désire par exemple établir le volume d'une réserve d'eau d'irrigation. Toutefois, pour la gestion et l'optimisation au jour le jour des doses d'irrigation, le modèle prédictif de Thornthwaite (1944) est désuet et inadéquat, parce que les données sont trop imprécises (réf. 8, page 118).



Carte (2002) des aperçus de l'ÉT₀ ou l'ÉT_{réf} au Québec, telle que calculée par la méthode de Thornthwaite

Source : Gouvernement du Québec

Au Québec, on distingue deux grands types de macroclimats : continental et maritime.

Le macroclimat de type continental est influencé par le mouvement rapide de grandes masses d'air et il est caractérisé par de grands écarts de température (réf. 32). Il englobe la majeure partie des zones densément peuplées du sud-ouest du Québec. Il est également typique de l'intérieur des terres au nord du Québec (Fermont, Chibougamau, Schefferville, etc.) avec des écarts de température encore plus marqués et des saisons de transition (printemps et automne) plus courtes.

Le macroclimat de type maritime est plus tempéré puisqu'il est influencé par la proximité de grandes étendues d'eau comme le fleuve Saint-Laurent et certains Grands Lacs qui ralentissent le réchauffement de l'air au printemps, puis son refroidissement à l'automne. On peut donner comme exemple de régions du Québec où le climat de type maritime domine : les Îles-de-la-Madeleine (golfe du Saint-Laurent), la Gaspésie (golfe du Saint-Laurent et la Baie-des-Chaleurs), la Haute et la Basse-Côte-Nord (golfe du Saint-Laurent), les zones côtières de la baie James, de la baie d'Hudson et de la baie d'Ungava.

À l'intérieur de ces deux types de macroclimats, il existe plusieurs variations selon la position géographique et la géomorphologie. Un bel exemple : le Lac-Saint-Jean, qui combine un climat continental tempéré et une influence maritime due à la masse d'eau importante que constitue le Lac. On peut aussi parler du Bas-du-Fleuve (La Pocatière, Kamouraska, Rivière-du-Loup). Depuis quelques décennies, on voit le même phénomène en périphérie de l'immense Réservoir Manicouagan, au Barrage Daniel-Johnson (centrale hydro-électrique Manic-5) et qui influence aussi le côté ouest des Mont-Groulx (ancienne ville minière de Gagnon). Plus on se dirige vers le nord, moins les températures d'été sont chaudes et passé la ligne des arbres (limite nord de la taïga, vers le 54^e degré de latitude nord), les régions à l'intérieur des terres deviennent difficilement habitables et l'horticulture ornementale devient presque impossible. Dans les zones côtières du Grand Nord, habitables grâce à l'effet modérateur des grandes étendues d'eau, le jardinage demande beaucoup d'ingéniosité. Il faut reconnaître que, même dans les petits villages côtiers du Nunavik, des gens font du jardinage ! Ce qui prouve qu'avec un peu d'ardeur et en choisissant les bonnes espèces, on peut jardiner dans toutes les zones habitables du Québec.

3. L'influence des espaces urbains, des régions rurales et agricoles dans le contexte territorial, géomorphologique et bioclimatique du Québec

De façon générale, plus une région est urbanisée ou plus une région a une vocation agricole, moins il reste de forêts matures. Or, il se trouve qu'une forêt mature est à peu près ce qu'il y a de mieux pour optimiser les conditions écologiques d'un site, que ce soit du point de vue des sols (érosion des sols approchant le niveau zéro), de la purification de l'air (émission d'oxygène grâce à la photosynthèse), de la biodiversité (multiplication des niches écologiques), du climat (réduction de la vitesse des vents près du niveau du sol, donc moins d'écarts de température brusques), de l'hydrologie (meilleure rétention des eaux de pluie dans les sols, régularisation des débits de pointe des bassins versants), de la productivité annuelle en termes de biomasse (séquestration du carbone atmosphérique), etc.

L'urbanisation et la mise en culture de vastes territoires, comme c'est le cas au Québec, surtout dans la vallée du Saint-Laurent, ont des impacts sur le climat et sur les réserves d'eau des bassins versants, en conséquence sur la régie de l'irrigation.

Les exemples des impacts de l'urbanisation et de l'agriculture sont nombreux, notamment :

- dans les endroits où il n'y a pas d'arbres, la vitesse des vents au sol est plus haute, l'évapotranspiration s'en voit donc accrue;
- les infrastructures de routes et de rues sont associées à d'importants ouvrages de génie civil qui ont pour fonction d'évacuer rapidement les eaux pluviales, ce qui rabaisse le niveau moyen des nappes phréatiques et complique la régénération ou la recharge de celles-ci;
- le drainage agricole qui a pour effet de rabaisser le niveau moyen des nappes phréatiques en zones rurales, ainsi que d'amplifier les pics de débit des bassins versants;
- les changements de l'albédo font en sorte que certaines surfaces dénudées deviennent plus chaudes au soleil (p. ex., pavages asphaltés, toitures en bardeau d'asphalte, etc.), ce qui a pour effet d'augmenter la vitesse d'évaporation et l'évapotranspiration estivale;
- le drainage autour des semelles d'empiètement supportant les murs de fondation des bâtiments rabaisse de façon permanente le niveau local de la nappe phréatique, notamment en drainant plus rapidement le terrain lors du dégel printanier et lors d'épisodes de pluies intenses. De façon parallèle, ce drainage périphérique autour des bâtisses accélère l'assèchement des sols et, dans le cas des sols argileux, favorise leur retrait. Dans la vallée du Saint-Laurent et autour du Lac Saint-Jean, sauf exception, les argiles sont de type « gonflantes » et si elles deviennent sèches sous la fondation du bâtiment, cela occasionne des fissures et des désalignements de murs de fondation. Voilà un problème qui, s'il est pris à temps, peut être résolu à peu de frais par le biais d'un système d'irrigation goutte-à-goutte installé le long du mur de fondation et opéré au printemps, durant l'été et le plus tard possible à l'automne. En comparaison, des travaux de génie civil en sous-œuvre pour réparer ou remplacer la fondation peuvent coûter de l'ordre de 200 000,00 \$ pour une seule maison unifamiliale (réf. 34).

D'un point de vue de l'utilisation durable de l'eau en horticulture ornementale, les inconvénients entraînés par l'urbanisation et l'agriculture intensive peuvent trouver une solution acceptable. Toutefois, on doit le faire en raisonnant et en travaillant à long terme, toujours en faisant confiance au potentiel du vivant, à commencer par les végétaux, et sans jamais oublier de restaurer, favoriser et maintenir la fertilité des sols.

4. Quelques notions sur l'évapotranspiration

L'évapotranspiration, ou $\dot{E}T$, s'exprime généralement en millimètres d'eau par jour, par semaine, par décade (10 ou 11 jours) ou par mois. Elle indique la quantité d'eau perdue vers l'atmosphère via l'évaporation de l'eau à partir de surfaces considérées comme inertes (sols, affleurements rocheux, bâtiments, toitures, infrastructures urbaines, etc.) ou de plans d'eau (lacs, rivières, etc.) qu'on additionne avec la perte d'eau par transpiration des êtres vivants : végétaux, plantes, animaux, lichens et champignons.

L'évapotranspiration est égale à l'épaisseur imaginaire (mm ou m) de la lame d'eau évaporée et transpirée pour un lieu spécifique et pour une durée donnée (jour, semaine, décade, mois, année). Pour connaître le volume d'eau consommé par unité de temps (mètres cubes d'eau requis par jour, semaine, mois, etc.), on multiplie l' $\dot{E}T$ exprimée en (mètres/unités de temps) par la surface de terrain exprimée en mètres carrés. Exemple : pour une évapotranspiration potentielle ($\dot{E}T_p$) de 6 mm/jour et un terrain de 800 m², le calcul donne 0,006 m/jour x 800 m² = 4,8 m³ d'eau/jour.

Il y a plusieurs manières de traduire le concept d'évapotranspiration. Trois sont importantes en horticulture ornementale.

a) l'évapotranspiration réelle $\dot{E}T_r$

Représentée par le symbole $\dot{E}T_r$, l'évapotranspiration réelle est l'eau réellement perdue, sous forme de vapeur, dans une région donnée. Elle est généralement mesurée avec des lysimètres ou des stations lysimétriques, des dispositifs très coûteux, mais d'une précision incontestable.

On peut comparer les lysimètres à des balances géantes enfouies sous la surface du sol, supportant et mesurant continuellement un énorme cylindre métallique rempli de sol (un Anthropeol reconstitué copiant le mieux possible le sol naturel environnant) et recouvert d'un tapis végétal, généralement du gazon.

b) l'évapotranspiration potentielle $\dot{E}T_p$

L' $\dot{E}T_p$ est l'eau susceptible d'être perdue dans les mêmes conditions que pour l' $\dot{E}T_r$ quand elle n'est plus un facteur limitant. C'est une sorte d'évapotranspiration maximale, au moment où l'eau est disponible sans restriction. C'est une mesure qui incite presque au gaspillage de l'eau et c'est pour cette raison qu'on l'emploie de moins en moins.

c) l'évapotranspiration de référence $\dot{E}T_o$

La définition officielle de l' $\dot{E}T_o$ est :

« l'évapotranspiration de référence est définie comme le flux d'évapotranspiration d'une culture hypothétique de référence, d'une hauteur supposée de 0,12 m, ayant une résistance de surface de 70 s/m et un albédo de 0,23, très proche de l'évapotranspiration d'une grande surface de gazon de hauteur uniforme, en croissance active, avec un approvisionnement en eau convenable. » (réf. 2, page 232, tiré de réf. FAO 1998).

L' $\dot{E}T_o$ est une valeur théorique d'évapotranspiration obtenue à l'aide d'un modèle bioclimatique standardisé et dont la mise au point fut terminée en 1994 sous l'égide de la FAO [Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture], à partir d'une quantité fabuleuse de recherches climatiques réalisées un peu partout dans le monde depuis la fin du XIX^e siècle.

Dans la bonne gestion des pratiques d'irrigation, c'est celle que l'on utilise régulièrement, surtout par commodité puisque c'est une valeur de plus en plus facile à obtenir par Internet, par exemple sur [https://www.agrometeo.org/index.php/indices/map/cumul_p_etp_depuis_le_1er_mai/general].

Le modèle maintenant reconnu partout dans le monde s'appelle FAO-Penman-Monteith (réf. 2, page 233, réf. 9 au complet, réf. 10 pour un logiciel fonctionnel). Ce modèle est préprogrammé dans la plupart des stations météo de type agricole disponibles sur le marché nord-américain [www.davisnet.com; www.specmeters.com; www.campbellsci.com/eto; www.hunterindustries.com, etc.].

Mathématiquement très laborieux et nécessitant toute une panoplie de mesures climatiques, le modèle FAO-Penman-Monteith doit son emploi aujourd'hui généralisé au seul avènement des circuits intégrés miniaturisés et des micro-ordinateurs. Il y avait jusqu'à très récemment des méthodes beaucoup plus simples, quoique très précises, pour évaluer l'ÉTO, par exemple la méthode de Turc, qui mériterait amplement d'être remise à la mode. Une fois qu'on a déterminé si l'humidité relative de l'air au niveau régional est supérieure à 50 % ou inférieure à 50 % (régions arides ou désertiques), tout ce que la méthode de Turc requiert est la température moyenne de l'air sur une période de 10 ou 11 jours (décade) ou sur une période mensuelle. Pour compléter le modèle mathématique, il faut simplement les heures d'ensoleillement au sol, telles que mesurées avec un héliographe.

Pour la calculer convenablement selon le modèle FAO-Penman-Monteith, il faut suivre à la trace au moins 7 paramètres météorologiques ou climatiques différents, alors que la méthode de Turc, très précise pour les régions tempérées comme la nôtre, n'en requiert que deux.

5. Points de flétrissement temporaire et permanent – le sol vu comme un réservoir d'eau

5.1 La tension de l'eau dans les sols

Outre le concept d'évapotranspiration, il y a celui de « tension de l'eau dans le sol », qui amène inévitablement à la notion de « point de flétrissement », primordiale en irrigation. Dans tous les cas, on cherche à éviter que les plantes subissent un flétrissement permanent parce qu'une fois à ce niveau de sécheresse, la plante ne pourra jamais récupérer et mourra. C'est irréversible. En revanche, en horticulture ornementale, on peut tolérer de s'approcher, mais pas trop, du point de flétrissement temporaire. En procédant ainsi, pour les espèces pérennes, on favorise un enracinement plus profond et l'exploration par le système racinaire de la plante d'un plus grand volume de sol. Il s'ensuit une meilleure résistance à la sécheresse, aux insectes et aux maladies. Toutes ces notions de flétrissement sont liées directement au phénomène de tension de l'eau dans le sol.

Pour mesurer la tension de l'eau dans le sol, on peut utiliser un tensiomètre. Pour l'essentiel, ces appareils mesurent la force requise pour « arracher » l'eau du sol. En termes plus techniques, c'est une forme de mesure du potentiel matriciel de l'eau du sol. Plus la force de succion exercée est importante (plus on s'approche du -100 kPa), plus la plante aura de la difficulté à puiser l'eau dont elle a besoin dans le sol. Les appareils ont généralement une plage de mesure s'étendant de 0 à -10 mètres d'eau ou -100 kPa.

Chaque espèce de plante a son seuil de tolérance à la tension de l'eau dans le sol. Celui-ci est fonction de son âge et de son stade phénologique, l'époque de floraison étant généralement la plus sensible.

Il existe différents appareils sur le marché, par exemple celui fabriqué par la compagnie Hortau [<https://hortau.com/fr/technology/>]. Hortau fabrique le seul tensiomètre qui mesure la tension réelle du sol jusqu'à 1000 kPa. Il y a aussi le classique *Irrometer* [<https://www.irrometer.com/>] qui est à la fois simple, abordable et didactique. Les tensiomètres à capsule poreuse, comme l'*Irrometer*, ne donnent pas des valeurs allant jusqu'au point de flétrissement temporaire, mais restent dans des limites pratiques pour le pilotage de l'irrigation. Ils permettent de juger si on s'en approche, pour bien protéger la récolte.

En somme, on pourrait choisir de piloter l'irrigation en utilisant des tensiomètres, et c'est ce qui est fait couramment en cultures maraîchères. Toutefois, dans les aménagements paysagers, cela deviendrait vite compliqué et laborieux en raison des sols anthropisés, par définition hétérogènes, à la fois verticalement et horizontalement (réf. 7, page 209).

On peut voir les sols comme étant un assemblage de particules minérales et de matière organique, accompagné d'une porosité variable, celle-ci étant occupée par de l'eau ou de l'air ou les deux. Cette définition, malgré le fait qu'elle soit simpliste, permet d'introduire le concept de sol = réservoir d'eau.

En effet, toutes les plantes terrestres puisent l'essentiel de l'eau dont elles ont besoin pour croître à même celle qui occupe une partie de la porosité (au-dessus de la nappe phréatique) ou toute la porosité du sol (sous la surface de la nappe phréatique).

Pour l'eau contenue dans les sols, on distingue d'abord les deux états suivants :

a) un sol saturé

Dans ce cas, toute la porosité est occupée par de l'eau. Si cette situation dure trop longtemps à toutes les profondeurs de sol, pour les espèces non adaptées aux conditions hydromorphes, c'est-à-dire d'un sol qui est régulièrement saturé en eau, il y aura asphyxie des racines et éventuellement mort de la plante. En horticulture ornementale, sauf pour les jardins aquatiques, cette situation est à éviter.

b) un sol à la capacité au champ

C'est un sol avec des pores qui contiennent de l'eau et de l'air. Il s'agit d'un sol qui a reçu des précipitations (eau de dégel ou pluie abondante), en quantité suffisante pour remplir les pores du sol, mais qui a eu le temps de se ressuyer (drainer) par gravité. L'eau, présente en abondance, est facilement disponible pour les plantes. En irrigation, si on utilisait comme critère de maintenir toujours les sols à la « capacité au champ », on utiliserait beaucoup trop d'eau.

5.2 L'eau dans les végétaux

Par rapport aux végétaux, on peut constater les états suivants :

a) le point de flétrissement temporaire

La plante flétrit, mais peut reprendre sa turgescence si on l'arrose dans les plus brefs délais. À ce stade, le sol est très sec et les tensiomètres utilisant de l'eau dans la sonde (p. ex., *Irrrometer*) ne fonctionnent plus (absence de frange capillaire dans le sol).

b) le point de flétrissement permanent

À ce stade, dans le sol, il ne reste que l'eau hygroscopique, si fortement adsorbée aux particules minérales qu'elle devient hors de portée pour l'ensemble des plantes vasculaires.

L'eau dans les végétaux

L'eau est présente dans les sols et on peut voir ceux-ci comme des réservoirs. D'ailleurs, le tableau à la page suivante permet d'évaluer la quantité d'eau disponible dans un volume de sol, en fonction de paramètres assez simples à obtenir. Tiré de *Sols et environnement* (réf. 7, page 145), ce tableau a été compilé en fonction de sols observés en Europe, mais les mêmes valeurs sont utilisables ici en Amérique du Nord, si on se donne la peine d'utiliser les bonnes unités de mesure.

Teneur en eau volumique à différents potentiels en fonction de la texture (triangle de texture de la carte des sols de l'Europe au 1/1 000 000) et de la masse volumique apparente des sols

| | | Teneur en eau volumique (cm ³ cm ⁻³) | | | | | | |
|--------------|-------------------------|---|---------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | θ_{10} | θ_{33} | θ_{100} | θ_{330} | θ_{1000} | θ_{3300} | θ_{15000} |
| Très fine | $1,1 \leq \rho_b < 1,3$ | 0,498 | 0,473 | 0,451 | 0,423 | 0,405 | 0,371 | 0,330 |
| | $1,3 \leq \rho_b < 1,5$ | 0,459 | 0,439 | 0,428 | 0,405 | 0,385 | 0,352 | 0,328 |
| | $1,5 \leq \rho_b < 1,7$ | 0,359 | 0,359 | 0,361 | 0,353 | 0,347 | 0,340 | 0,294 |
| Fine | $1,0 \leq \rho_b < 1,2$ | 0,519 | 0,499 | 0,494 | 0,461 | 0,431 | 0,373 | 0,281 |
| | $1,2 \leq \rho_b < 1,4$ | 0,452 | 0,443 | 0,421 | 0,385 | 0,373 | 0,340 | 0,271 |
| | $1,4 \leq \rho_b < 1,6$ | 0,391 | 0,378 | 0,361 | 0,344 | 0,321 | 0,289 | 0,250 |
| | $1,6 \leq \rho_b < 1,8$ | 0,338 | 0,334 | 0,325 | 0,307 | 0,291 | 0,275 | 0,244 |
| Fine moyenne | $1,2 \leq \rho_b < 1,4$ | 0,348 | 0,338 | 0,323 | 0,291 | 0,232 | 0,188 | 0,153 |
| | $1,4 \leq \rho_b < 1,6$ | 0,359 | 0,343 | 0,328 | 0,298 | 0,258 | 0,211 | 0,175 |
| | $1,6 \leq \rho_b < 1,8$ | 0,353 | 0,345 | 0,329 | 0,303 | 0,263 | 0,230 | 0,190 |
| Moyenne | $1,2 \leq \rho_b < 1,4$ | 0,354 | 0,337 | 0,314 | 0,278 | 0,245 | 0,193 | 0,140 |
| | $1,4 \leq \rho_b < 1,6$ | 0,346 | 0,329 | 0,310 | 0,275 | 0,235 | 0,193 | 0,146 |
| | $1,6 \leq \rho_b < 1,8$ | 0,320 | 0,307 | 0,293 | 0,270 | 0,248 | 0,214 | 0,167 |
| | $1,8 \leq \rho_b < 2,0$ | 0,296 | 0,289 | 0,274 | 0,266 | 0,258 | 0,231 | 0,186 |
| Grossière | $1,4 \leq \rho_b < 1,6$ | 0,241 | 0,210 | 0,164 | 0,135 | 0,106 | 0,093 | 0,075 |
| | $1,6 \leq \rho_b < 1,8$ | 0,253 | 0,231 | 0,188 | 0,156 | 0,126 | 0,103 | 0,077 |

Source : D'après Al Majou et al., 2007

Le tableau ci-haut utilise les classes texturales, passant de texture très fine (argiles et ultra-argiles) à texture grossière (sable grossier ou très grossier, diamètres de 0,5 à 2,0 mm), la masse volumique apparente sèche du sol ρ_b (g/cm³) et la tension de l'eau dans le sol « h » exprimée en hPa ou hectoPascal (1 hPa = 100 Pa = 0,1 kPa) et indiquée au tableau en indice au symbole θ , θ_{10} , θ_{33} , θ_{100} , etc. Plus la valeur « h » est haute, plus le sol est sec. Dans l'ensemble, on n'a que :

θ_{10} = 10 hectoPascals = plus ou moins un sol saturé en eau;

θ_{100} = 100 hectoPascals = plus ou moins un sol à sa capacité au champ;

θ_{15000} = 15000 hectoPascals = un sol tellement sec qu'il peut entraîner un flétrissement permanent des végétaux.

En résumé, toujours selon ce tableau, pour un (1) centimètre cube de sol, on peut avoir au total (eau de drainage + eau à la capacité au champ + eau capillaire + eau hygroscopique) entre 0,077 cm³ d'eau et 0,519 cm³ d'eau !

Le tableau de la page précédente met en lumière l'intérêt qu'on a de favoriser le développement extensif des systèmes racinaires des plantes pour qu'elles puissent explorer un volume maximal de sol, et possiblement dans plusieurs cas atteindre la nappe phréatique. La richesse du sol en matière organique joue aussi un rôle important dans sa capacité à retenir l'eau. On estime que chaque pourcentage (1 %) supplémentaire de matière organique dans le sol accroît sa réserve en eau facilement utilisable par les plantes de presque deux pour cent (1,8 % pour les textures allant de l'argile au sable).

6. La notion de porosité de drainage d'un sol

Une portion de l'eau d'un sol quelconque est utilisable pour l'irrigation. C'est l'eau contenue dans la « porosité de drainage ». On peut exploiter cette ressource hydrique via un puits de surface ou un étang d'irrigation. C'est l'eau qui bouge facilement par gravité dans un sol. On peut affirmer sans se tromper que la porosité de drainage nous donne accès à un réservoir d'eau insoupçonné et qu'on peut fréquemment utiliser cette eau pour l'irrigation. En milieu rural, c'est relativement facile à faire; en banlieue, c'est un peu plus difficile mais tout de même faisable. C'est un peu comme se faire installer une piscine creusée; en milieu densément urbanisé, c'est habituellement impossible à faire, mais il y a des exceptions. Il faut au moins se poser la question : « Est-ce possible ici ? »

On nomme « porosité de drainage » la fraction équivalente (m^3 d'eau/ m^3 de sol) du volume de sol occupé par l'eau dite « de gravité », c'est-à-dire l'eau pouvant s'écouler du sol facilement par la seule force de gravité. Ceci exclut donc l'eau de capillarité et l'eau adsorbée (eau hygroscopique). L'eau de gravité pouvant être contenue dans la porosité de drainage n'est qu'une partie du contenu total d'eau d'un sol, mais c'est néanmoins la plus utile pour constituer une réserve d'eau d'irrigation.

Par exemple, dans une argile (glaise) ayant une faible conductivité hydraulique (argile relativement imperméable), cette fraction est d'environ 0,02 c'est-à-dire 2 % du volume. Ici, pour dimensionner une réserve d'eau d'irrigation, tout se joue dans le volume de sol (m^3) total influencé par la présence du puits de surface ou de l'étang d'irrigation, sur une période de réserve d'eau souhaitée plus ou moins longue, disons de l'ordre d'une semaine ou deux dans nos climats.

Porosités de drainage de certaines classes texturales de sol

| Conductivité hydraulique K mesurée in situ, en milieu saturé | Porosité de drainage | |
|--|--|---|
| | Classes texturales = argiles et limons | Classes texturales = sables fins, moyens et grossiers |
| Exprimée en (m/jour) | | |
| $0,1 \leq K < 0,5$ (peu perméable) | de 0,02 à 0,03 | de 0,03 à 0,05 |
| $0,5 \leq K < 1,0$ (moyennement perméable) | de 0,03 à 0,05 | de 0,05 à 0,08 |
| $1,0 \leq K < 5,0$ (très perméable) | de 0,04 à 0,06 | de 0,08 à 0,10 |
| $K > 5,0$ (drainage rapide) | de 0,05 à 0,07 | de 0,10 à 0,12 |

Source : CRAAQ, 2005 (réf. 35)

Dans le tableau précédent, la porosité de drainage est obtenue à partir d'un estimé de la conductivité hydraulique K. Comme point de départ pour estimer la conductivité hydraulique d'un sol saturé en eau, faute de mieux (= un test *in situ* pour mesurer la vitesse de remontée en utilisant la méthode du trou à la tarière), on peut s'aider en utilisant les valeurs suivantes, présentées en fonction de la classe texturale du sol en présence.

Valeurs de K en fonction de la classe texturale du sol

| Texture du sol | K en cm/heure* | K en m/jour (converti) |
|----------------------|----------------|------------------------|
| Argile | 0,06 | 0,0144 |
| Argile limoneuse | 0,09 | 0,0216 |
| Argile sablonneuse | 0,12 | 0,0288 |
| Loam limono-argileux | 0,15 | 0,0360 |
| Loam argileux | 0,23 | 0,0552 |
| Loam sablo-argileux | 0,43 | 0,1032 |
| Loam limoneux | 0,68 | 0,1632 |
| Loam | 1,32 | 0,3168 |
| Loam sableux | 2,59 | 0,6216 |
| Sable loameux | 6,11 | 1,4664 |
| Sable | 21,00 | 5,0400 |

Source : W.J. Rawls et D.L. Brakensiek, 1982 (réf. : *Estimating soil water retention from soil properties*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1982, vol. 108, pages 166-171, repris dans Agricultural Drainage, Agronomy Monograph n° 38)

On ne doit jamais perdre de vue que la porosité de drainage est largement tributaire de la structure, des agrégats d'un sol. Plus la structure d'un sol est évoluée, plus haute est la porosité. Des apports en matière organique favorisent une bonne structure des sols. Un sol massif, compacté et sans agrégats a généralement une très mauvaise conductivité hydraulique.

Revenons sur les deux tableaux précédents avec un exemple. Dans le tableau Valeurs de K en fonction de la classe texturale du sol, si le sol est un « loam sableux », on peut estimer la conductivité hydraulique K à environ 0,6216 m/jour. Selon l'autre tableau Porosités de drainage de certaines classes texturales de sol, avec cette valeur de K on aurait une porosité de drainage avoisinant 0,05, soit 5 %. Il en résulte que dans ce cas, l'eau renfermée dans environ 5 % du volume de sol présent sous le niveau moyen de la nappe phréatique environnante (à l'intérieur du périmètre influencé sur une durée d'une semaine ou deux dans nos climats) serait facile à capter via un puits de surface ou un étang d'irrigation. On peut aisément imaginer la quantité considérable d'eau d'irrigation qu'on peut obtenir de cette façon. Une sorte de bassin versant miniature.

7. Les nombreuses stratégies des plantes pour obtenir de l'eau

Depuis nombre d'années, des chercheurs ont utilisé des sondes électroniques de type Time Domain Reflectometry (TDR) qui signifie « réflectométrie dans le domaine du temps » ou Frequency Domain Reflectometry (FDR) ou « réflectométrie dans le domaine des fréquences » pour tenter d'évaluer en continu la teneur en eau des sols. Un exemple de sonde disponible sur le marché est le Field Scout TDR 150 de Spectrum Technologies [<https://www.specmeters.com>]. Bien qu'elles soient souvent difficiles à calibrer avec précision et que l'interprétation des lectures soit délicate, l'utilisation des sondes TDR et FDR a fourni des informations inattendues à propos des espèces de plantes vasculaires près desquelles l'humidité du sol a été mesurée pendant de longues périodes de temps et à différentes profondeurs.

À partir des sondes TDR et FDR, les chercheurs ont pu faire plusieurs constatations. En fait, avec l'évolution des espèces, les plantes ont su développer des stratégies originales et variées pour aller chercher l'eau dont elles ont besoin.

Si, durant la nuit, les plantes ne font pas ou presque pas de photosynthèse, elles sont loin d'être au repos. En effet, elles profitent de cette période, alors que le taux de transpiration est faible, pour aller puiser l'eau profondément dans le sol, une tâche longue et exigeante, pour ensuite l'exsuder dans la rhizosphère (autour des poils absorbants) et beaucoup plus proche de la surface du sol. Pour 85 % des espèces de plantes à travers le monde, ce travail s'accomplit avec la contribution des symbioses mycorhiziennes. De ce fait, les plantes se bâtissent tranquillement durant la nuit une réserve d'eau facilement disponible, près de la surface du sol, un stock d'eau qui sera prélevé graduellement durant la journée, lorsque le taux de transpiration sera maximal. Voilà une stratégie de survie qui frappe l'imaginaire, en plus de confirmer l'utilité écologique inégalée des symbioses racinaires.

D'autres plantes, par exemple les pins (*Pinus* sp.), s'y prennent sur plusieurs années pour faire descendre petit à petit leur racine centrale pivotante, jusqu'à ce que celle-ci atteigne la nappe phréatique. Puisque la plupart des espèces de pins poussent de préférence sur des dépôts sablonneux, la nappe phréatique peut être assez profonde, dépassant parfois les 10 mètres. C'est pourquoi on observe souvent que les jeunes pins poussent lentement. Ensuite, après quelques années, lorsque la racine pivotante a atteint la réserve d'eau « inépuisable » (la nappe phréatique), le taux de croissance des pins monte en flèche.

Les plantes de milieux arides, rarement observées au Québec, pratiquent l'étalement horizontal du système racinaire pour obtenir de l'eau.

Voici une autre stratégie moins reluisante, mais qui existe : il y a certaines plantes qui profitent d'autres plantes pour obtenir des éléments nutritifs et en même temps une part de leur besoin d'eau. Ce sont les espèces qui pratiquent l'hémiparasitisme (semi-parasitisme). C'est le cas de *Castilleja septentrionalis*, *Rhinanthus minor* et *Rhinanthus borealis*, trois Scrophulariacées ou Orobanchacées indigènes. Avec leur système racinaire, elles prélèvent une partie de la sève de la plante hôte.

Ce qui est important de retenir, c'est que les stratégies pour obtenir de l'eau sont multiples et que le règne végétal est loin d'être dépourvu en ce domaine.

8. Les périodes où les plantes sont les plus vulnérables au manque d'eau

Dans les climats et sols de nos régions, les plantes sont les plus vulnérables au manque d'eau :

- lors de la germination et jusqu'à l'apparition des premières vraies feuilles;
- lors d'une transplantation. Pour les arbres, un long choc de transplantation est à prévoir, d'autant plus long que l'arbre est gros;
- dans les premières semaines suivant la plantation des fleurs annuelles;
- pendant les canicules d'été pour les pelouses dont l'espèce principale est une fameuse graminée (famille botanique des *Poaceae*) nommée pâturin du Kentucky (*Poa pratensis*) qui a la fâcheuse habitude de tomber en dormance (virer au brun jaune) dès qu'une sécheresse se pointe le bout du nez. D'autres *Poaceae* adaptées à notre climat, par exemple la fétuque ovine, sont beaucoup plus résilientes et traversent les épisodes de sécheresse sans trop de séquelles;
- la fin de l'hiver pour les plantes ligneuses à feuillage persistant, les conifères et les rhododendrons. En effet, si la surface du sol est restée gelée tout l'hiver, la réserve d'eau sous forme liquide et facilement disponible plus creuse dans le sol non gelé s'amenuise graduellement pendant l'hiver et la plante, à cause de son feuillage persistant, transpire davantage et a besoin de plus d'eau qu'une espèce à feuillage caduc. À la fin de l'hiver, surtout aux endroits où la couverture de neige est mince, les espèces sempervirentes peuvent connaître un stress hydrique important et il peut y avoir un brunissement du feuillage, appelé parfois brûlure hivernale;
- en culture maraîchère (potagers), particulièrement au moment de l'émergence des semis ou de la transplantation des plantules, mais aussi jusqu'à la récolte.

9. Pourquoi et comment minimiser les besoins en eau d'irrigation ?

9.1 L'eau potable n'est pas une ressource gratuite

L'eau potable coûte cher à produire et à distribuer. Malheureusement au Québec, les citoyens consommateurs d'eau potable n'en paient pas le véritable prix.

À titre d'exemple, en 2013, la Ville de Mont-Royal facturait l'eau potable à un tarif d'environ 0,58 \$ le m³, payable une fois par année (2 fois pour les commerces et industries) à la suite de la lecture du compteur d'eau. Mont-Royal accorde un certain volume de base non facturé.

En fait, au Québec, selon le *Rapport sur le coût et les sources de revenus des services d'eau*, (réf. 27, p. 15) (page PDF 17 sur 24), en 2012, le coût de la production de l'eau potable au Québec était de 0,69 \$/m³ et le coût de sa distribution via les réseaux d'aqueducs était de 0,60 \$/m³ d'eau potable, pour un grand total coûtant de 1,29 \$ par m³ d'eau potable produite et distribuée, en 2012. En ajoutant 2 % d'inflation par année, on arriverait à 1,57 \$/m³ en 2022.

Ce n'est pas tout : selon la Figure 5, page 15 du même Rapport, moins il y a d'habitants dans la ville ou le village, plus cher coûte l'eau potable au mètre cube. Le coût unitaire au m³ d'eau potable monte en flèche. Entre 0 et 999 habitants dans un village typique du Québec, le coût unitaire approche les 13,20 \$/m³ d'eau potable (60 % de 22,00 \$/m³ d'eau potable + eaux usées)! Avec 2 % d'inflation/an, on arrive à 16,09 \$ le m³ d'eau potable en 2022. Ces coûts incluent : dégrillage, pompage, coagulation, floculation, décantation, filtration, désinfection, stockage, pressurisation de l'aqueduc, distribution de l'eau potable via l'aqueduc, amortissement et entretien des équipements.

9.2 Nouvel aménagement ou jardin mature : deux contextes très différents

Un système d'irrigation horticole bien pensé peut durer environ 25 à 40 ans, voire plus. L'ossature du système (les tuyaux et raccords) quant à elle peut durer une quarantaine d'années, et même beaucoup plus si les matériaux choisis initialement sont de qualité et si un entretien régulier est fait.

Au début, lors de sa pose, les végétaux irrigués sont jeunes et on doit leur laisser du temps pour s'implanter. La première, la deuxième et la troisième année, il est donc normal d'utiliser régulièrement le système d'irrigation, de manière décroissante de la 1^{re} à la 3^e année, toujours en respectant les règlements municipaux. Par la suite, si les jardins et pelouses ont été bien conçus, réalisés et entretenus, la végétation pérenne a eu le temps de développer un système racinaire en santé et assez profond pour s'adapter aux conditions changeantes d'humidité dans le sol au cours de l'été. Par conséquent, dans un aménagement paysager mature, le système d'arrosage devrait seulement être utilisé pour irriguer les plates-bandes de fleurs annuelles, les potagers, ou pour aider les pelouses à passer à travers des sécheresses graves, toujours en respectant les règlements municipaux sur l'utilisation de l'eau potable.

Un aménagement paysager conçu en respectant le principe de la bonne plante au bon endroit peut permettre d'économiser d'importantes quantités d'eau. En regroupant des végétaux qui ont les mêmes besoins en eau, on évite d'arroser un secteur parce que quelques plantes ont atteint le point de flétrissement temporaire, alors que d'autres, situées à proximité, n'ont pas besoin d'eau.

Le concepteur du système d'irrigation et celui du plan d'aménagement doivent partager une vision écologique du défi à relever, une vision qui inspirera leur démarche créative.

9.3 Choisir un mode d'irrigation efficient

L'efficience de l'irrigation se définit comme la proportion ou le pourcentage d'eau fournie qui aboutit à la surface du sol et qui y percole, sans ruisseler. De ce fait, cette eau contribue à la recharge de la réserve facilement utilisable (RFU) en eau du sol. Pourvu qu'on utilise l'équipement de manière adéquate en fonction des particularités du site et aux heures idéales (la nuit, les pertes par évaporation sont les plus faibles), l'efficience des trois principales méthodes d'irrigation horticole varie globalement comme suit :

- aspersion par asperseurs émergents du genre « pop-up » : de 70 % et 80 %, parfois jusqu'à 85 %;
- irrigation localisée, micro-irrigation ou goutte-à-goutte : près de 90 %;
- arrosage manuel au boyau, avec un pistolet d'arrosage : de 50 % à 80 %, selon les compétences de la personne qui arrose.

Pour atteindre une efficience maximale, il faut avant tout respecter les taux d'infiltration de l'eau dans le sol pour éviter le ruissellement et la battance. Ensuite, il faut favoriser les arrosages durant la nuit, alors que les pertes d'eau par évaporation sont minimales. Le meilleur moment est à la fin de la nuit et à l'aurore, disons approximativement de 2 h 00 à 6 h 00, ce qui coïncide aussi avec une période de la nuit durant laquelle la rosée se dépose au sol, un phénomène observable quand l'humidité relative de l'air ambiant est suffisante et que la température au sol se situe sous le point de rosée. En toutes circonstances, les règlements municipaux sur l'utilisation de l'eau potable doivent être suivis.

10. Propriétés et sources de l'eau utilisée pour l'irrigation

10.1 Les propriétés physico-chimiques et bactériologiques acceptables

Pour qu'une eau puisse être utilisée en irrigation, elle doit avoir les qualités requises. C'est généralement le cas de l'eau fournie par l'aqueduc, puisque celle-ci est pour la consommation humaine.

Toutefois, comme il est possible d'utiliser d'autres sources (eau souterraine, eau de pluie, etc.), on doit connaître les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau avant de l'utiliser en irrigation.

Une analyse par un laboratoire reconnu à partir d'échantillons peut être nécessaire pour identifier certains éléments.

Le tableau Propriétés chimiques d'une eau utilisable en irrigation indiquant des données pour une eau non potable, les critères d'évaluation ne sont pas vraiment régis par des lois ou par des règlements. Sur ce plan, il vaut mieux adopter une approche agronomique.

Propriétés chimiques d'une eau utilisable en irrigation

| Paramètre ou élément | Niveau maximal ou gamme acceptable |
|---|--|
| Inorganiques (sels) dissous, solides totaux dissous (Na, Ca, Mg, Cl, B et autres) mesurés par conductivité électrique | moins de 2,0 dS/m (anc. mhos/cm) |
| pH (le pH des « pluies acides » peut être aussi bas que 4.0). | pH 6,0 à pH 8,4 |
| Matières organiques biodégradables | DBO5 jours comblés, absence de mauvaises odeurs (un signe de décomposition en anaérobie) |
| Chlore résiduel (libre et combiné) | moins de 0,5 mg/litre de Cl ₂ |
| Composés organiques de synthèse (produits phytosanitaires, etc.) | On souhaite le niveau zéro ou ne dépassant pas quelques micro ou nanogrammes par litre. |
| Le % de sodium échangeable de la solution du sol ou PSE Le PSE = a · PSA + b, où PSA = proportion de sodium adsorbé ou SAR | Moins de 15 %, sinon formation de croûtes et/ou réduction de la conductivité hydraulique du sol. Problèmes de potentiel osmotique pour les plantes |
| Bore (B), essentiel aux plantes, mais en très petites quantités | moins de 2,0 mg/litre pour les gazons |
| Sulfates (SO ₄ -S) : le soufre est un macroélément pour les plantes, donc bénéfique, mais pas en trop grande quantité. | dans l'ensemble, ≤ 250 mg/litre, selon les espèces |
| Éléments toxiques : mercure, plomb, cadmium, sélénium, cyanure, uranium, etc. Ici, les règles de santé publique sont très strictes. | en général, moins de 0,01 à 0,001 mg/litre |
| Microéléments tels que : fer, manganèse, cuivre, zinc | en général, moins de 10 mg/litre, rarement un problème |

Source : Normand Cossette, Pour une meilleure gestion de l'eau : des sources d'eau alternatives en irrigation horticole, conférence prononcée le 31 mars 2010 dans le cadre des Matinées de formation de l'Association Irrigation Québec

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a émis une Directive minimale concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées dans l'agriculture (2006). Voici donc ci-dessous le tableau de l'OMS montrant les propriétés bactériologiques acceptables pour l'eau d'irrigation (réf. 38). Toutefois, la directive complète est extrêmement détaillée et d'application assez complexe.

Normes relatives à la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture (irrigation)

| Activité et niveau d'exposition | <i>Escherichia coli</i> et autres coliformes intestinaux par 100 ml (moyenne arithmétique) | Nématodes intestinaux nombre d'œufs par litre (moyenne arithmétique) |
|---|--|--|
| Irrigation non contingentée Légume racine ou plante dont on cueille la partie souterraine | Moins de 1 000 | ≤ 1 |
| Irrigation non contingentée Légume feuille ou plante dont on cueille la partie aérienne | Moins de 10 000 | ≤ 1 |
| Irrigation goutte-à-goutte Production sur tuteurs ou espaliers | Moins de 100 000 | ≤ 1 |
| Irrigation avec volumes d'eau restreints (régies) Opérations culturales faites à la main | Moins de 10 000 | ≤ 1 |
| Irrigation avec volumes d'eau restreints (régies) Opérations culturales mécanisées | Moins de 100 000 | ≤ 1 |

Source : Organisation mondiale de la santé (OMS), 2006 (réf. 38)

10.2 Considérations techniques, environnementales et sociales associées aux sources d'eau

Dans tous les cas, si les coûts sont acceptables, on devrait prioriser l'utilisation d'eau douce de qualité, mais pas nécessairement potable. En fait, l'utilisation d'eau potable devrait être la dernière option considérée. Depuis très longtemps, dans les zones urbanisées du Québec, on constate que l'eau potable est la source d'eau la plus fréquemment utilisée pour les systèmes d'irrigation horticole résidentiels. Il faut étudier sérieusement et sans complaisance la possibilité d'utiliser d'autres sources, tout aussi efficaces, mais dont les impacts techniques, environnementaux et sociaux sont moindres.

Chaque source d'eau envisagée pour l'irrigation a ses particularités. Il est important de les connaître pour prendre des décisions éclairées et qui fonctionneront sur le très long terme.

a) l'aqueduc municipal

Si, selon le principe de l'utilisateur payeur, on payait le coût réel de l'eau, à la fin d'un été normal, cela pourrait représenter un montant non négligeable. Selon le Rapport annuel 2019 de la Stratégie québécoise d'économie d'eau potable, ici au Québec, seulement 24 % des points de consommation d'eau potable sont mesurés (= avec compteurs d'eau) alors qu'aux États-Unis, dans les États de Californie et de Géorgie, on mesure respectivement 99 % et 98 % des points de consommation.

Il est légitime de se poser la question : pendant une canicule, lorsqu'il n'y a plus d'eau pour brosser ses dents, peut-on continuer à arroser le jardin ? Étonnamment, la réponse n'est pas aussi simple, car les plantes ont des bienfaits environnementaux et sociaux non négligeables, *a fortiori* dans les zones fortement urbanisées (lutte aux îlots de chaleur, permaculture urbaine, toitures végétalisées, etc.).

b) l'eau souterraine, à partir de la nappe phréatique. Puits de surface et étangs d'irrigation.

Cette eau est accessible à partir d'un puits ou d'un étang de faible profondeur s'alimentant principalement de l'eau de pluie infiltrée dans le sol. On utilise de manière astucieuse l'eau contenue dans la « porosité de drainage » des sols en périphérie de l'étang d'irrigation ou du puits (voir plus loin à ce sujet le cas vécu de récupération des eaux de pluie infiltrées dans le sol avec un puits de surface).

Au Québec, et c'est une chance, la nappe phréatique est souvent à quelques décimètres ou mètres de la surface. Il faut demander un permis à la municipalité ou la MRC avant d'entreprendre l'aménagement d'un puits de surface. Même remarque pour les étangs d'irrigation en zone agricole.

c) l'eau souterraine, à partir de nappes aquifères peu profondes ou profondes (substratum rocheux)

Quand les citoyens n'ont pas accès à un réseau d'aqueduc municipal, principalement à la campagne, le forage d'un puits artésien plus ou moins profond est requis. Les puisatiers professionnels, en forant assez profondément, trouvent de l'eau de qualité presque partout au Québec. Cependant, ce n'est pas toujours le cas, notamment dans les formations de roches ignées très compactes, très dures, peu fissurées et peu altérées. À d'autres endroits (p. ex., Saint-Amable en Montérégie), si le forage est trop profond, les couches de roches sédimentaires traversées contiennent du sel (NaCl) et l'eau devient inutilisable à cause de sa trop grande salinité.

Afin d'éviter les problèmes, il est conseillé de faire affaire avec un puisatier compétent, établi depuis longtemps et qui connaît bien la région. L'Association des entrepreneurs en forage du Québec ou AEFQ [<https://www.aefq-forage.com/>] regroupe la plupart des puisatiers opérant au Québec.

L'eau fournie par un puits peut servir à l'irrigation, souvent même avant qu'elle soit adoucie ou désinfectée. Un permis de la municipalité ou de la MRC est requis pour le creusage d'un puits artésien.

d) l'eau de pluie

Généralement recueillie à partir d'une toiture de maison, elle peut aussi l'être de tout bâtiment (cabanon, grange, entrepôt, etc.). D'abord dérivée, elle est ensuite stockée. Les eaux de pluie sont saturées en oxygène et ne contiennent aucun sel dissous. Ce sont le plus souvent des eaux très pures qu'on peut utiliser en irrigation. Parfois, dans les régions industrialisées, la contamination par les poussières atmosphériques ou le bas pH de l'eau (aussi bas que 4,0) peuvent poser problème.

Le stockage de l'eau de pluie peut se faire de plusieurs manières. Par exemple en milieu rural ou de villégiature, elles peuvent être dirigées vers un petit étang où on pompera l'eau quand l'irrigation sera nécessaire.

En milieu urbain, on utilise d'ordinaire des barils ou des citernes (photo ci-contre). On peut même en relier plusieurs en séries. Une multitude de modèles et de styles sont offerts dans les jardinerie, ainsi que dans les centres de rénovation et les quincailleries en saison. Étant donné que leurs volumes de stockages sont limités, on doit les considérer seulement comme une source d'eau complémentaire et non comme une source d'eau principale pour l'irrigation.

On pourrait, comme c'est le cas depuis longtemps en Europe, utiliser des réservoirs enfouis dans le sol. Faciles à installer sur un nouveau terrain, le travail est toutefois plus complexe sur un terrain existant.



Citerne de récupération de l'eau de pluie pliable

Source : site Internet de Lee Valley

e) les eaux de ruissellement

Dans un bassin de captage, on peut stocker des eaux de ruissellement issues des précipitations afin qu'elles n'aillent pas s'écouler dans les égouts pluviaux.

Dans les zones urbanisées, à maints endroits, les surfaces de sols sont recouvertes de matériaux imperméables : asphalte, béton, toiture de maisons et d'édifices, etc. Quand il pleut, l'eau n'a souvent d'autre choix que de ruisseler vers l'égout pluvial de la municipalité plutôt que de s'infiltrer dans le sol. En cas de pluies torrentielles, cela peut créer de graves problèmes d'inondations ou de reflux.

Pour les projets commerciaux ou institutionnels, cette source d'eau alternative pour l'irrigation constitue une voie d'avenir. En effet, avec le climat du Québec, en installant aux bons endroits quelques chambres en béton préfabriqué, on peut obtenir toute l'eau d'irrigation nécessaire pour un terrain commercial. Le meilleur endroit pour installer ces réservoirs est probablement le point bas d'un stationnement asphalté, en dérivation de l'égout pluvial privé, juste en amont du raccordement avec l'égout pluvial municipal. Avec un déversoir à seuil ajustable, on peut canaliser l'eau de pluie dans les chambres bétonnées. Il s'agit en plus d'un bon endroit pour installer une pompe submersible avec des filtres (suggestion : filtres à disques crénelés 0,2 mm). Le réservoir devrait recevoir une isolation thermique. Vérifier la qualité de l'eau, la salinité, la présence de films d'huiles et apporter les correctifs nécessaires à l'aide du système de pompage et de filtration. La conception d'un tel projet de génie civil devrait être confiée à un ingénieur (membre de l'O.I.Q.).

f) l'eau « issue » du principe Rejet « 0 »

La mise en place du principe du Rejet « 0 » de l'eau de pluie dans les aménagements doit aussi être considérée comme une source d'eau.

g) l'eau prélevée dans un lac ou un cours d'eau

Mis à part dans les secteurs urbanisés, avec plus d'un demi-million de lacs au Québec, on a l'embaras du choix. Toutefois, avant d'entreprendre le pompage, il faut obtenir un permis de la municipalité, de la MRC ou du MELCC selon le cas. Le choix de l'endroit où se fera la prise d'eau ainsi que le type de pompe à eau doit être fait de façon méticuleuse.

h) les eaux grises

Les eaux issues de la cuisine, des baignoires, de lavabos, etc., et les eaux usées au stade de « polissage » représentent un potentiel intéressant pour l'irrigation. Actuellement pour des raisons réglementaires, elles sont difficiles à utiliser, car il existe des inquiétudes sur les qualités microbiologiques.

Les projets de récupération des eaux grises doivent être faits après consultation et surtout, on doit procéder à des essais à petite échelle.

i) l'eau de mer

Dans les endroits où l'eau douce est rare ou difficilement accessible (comme aux Îles-de-la-Madeleine), on pourrait songer à une usine de dessalage de l'eau de mer par osmose inverse. Il en existe des petites, moyennes ou grosses selon les besoins. À noter que ce procédé est très coûteux.

j) l'eau du contre-lavage (« backwash ») de piscine

La plupart des gens envoient l'eau du contre-lavage directement dans la rue, celle-ci coule ensuite vers l'égout pluvial pour se perdre ensuite dans le bassin versant régional. Cette pratique n'a pas sa raison d'être. On peut très bien déverser l'eau du contre-lavage sur la pelouse arrière et en même temps contribuer à régénérer la réserve d'eau du sol, à la recharge de la nappe phréatique locale. Une petite inondation d'environ 4 minutes n'a aucune conséquence néfaste pour les plantes, au contraire, surtout pendant les canicules. Le problème potentiel de salinisation graduelle du sol par le chlore ou par le sel

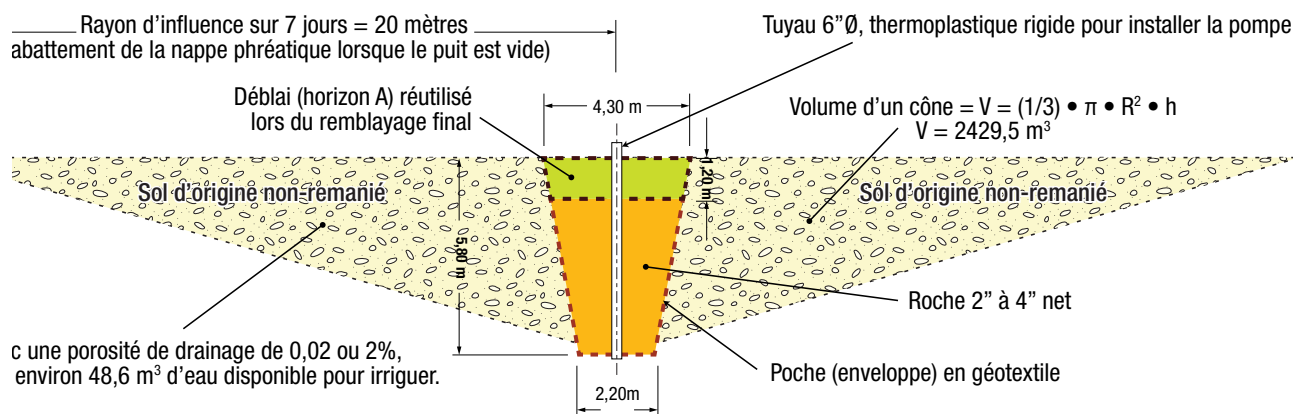
n'en est pas vraiment un, étant donné la pluviosité naturelle dans nos climats qui contribue à lessiver les sels. **Une exception à ce commentaire** : la nouvelle mode des piscines opérant avec de l'eau salée. Dans ce cas particulier, on ne doit pas utiliser l'eau de contre-lavage pour irriguer.

k) eaux d'exhaure ou de dénoyage des exploitations minières et des carrières de matériel granulaire

Parfois, les eaux de pompage des carrières, des mines à ciel ouvert ou même des mines souterraines peuvent convenir à l'irrigation. Avant tout, il faut faire analyser ces eaux (pH, métaux dissous, turbidité, etc.) par un laboratoire accrédité et si l'eau convient et qu'en plus elle est disponible à proximité, c'est une option possible ! Il faut alors s'entendre avec l'opérateur de la carrière ou de la mine et obtenir une autorisation écrite du gouvernement du Québec pour utiliser cette eau afin d'irriguer des plantes. À la Mine de fer Wabush au Labrador, Province de Terre-Neuve-et-Labrador, c'est ce genre d'eau que nous avons utilisée pour irriguer plus de 400 hectares de résidus miniers sableux pendant dix saisons (de 1996 à 2006). Le système d'irrigation par aspersion nous a permis de réussir la réhabilitation écologique de ce parc à résidus miniers, qui était initialement totalement infertile.

10.3 Un cas vécu en Montérégie, dans une banlieue-dortoir : la récupération des eaux de pluie infiltrées dans le sol en aménageant un puits de surface

En 1991, à Varennes en Montérégie, à l'arrière d'une maison neuve encore dépourvue de pelouse et jardin, on a installé un puits de surface alimenté par la nappe phréatique, dans un sol très argileux. Depuis tout ce temps, pour l'irrigation de leur jardin, les propriétaires utilisent exclusivement l'eau recueillie par ce puits.



Coupe d'un puits de surface

Source : Normand Cossette

a) fiche technique de ce projet

- Types de sols sur la propriété : sols argileux PVb4 série Providence avec substratum réduit, loam argileux. Carte pédologique mise à jour en 2008 par l'IRDA, à l'échelle 1:20 000 (réf. 39).
- Installation faite le 30 juillet 1991, pendant une sécheresse. Trou carré d'environ 4,30 m de côté, creusé à 100 % à partir du même côté, afin de réduire les risques d'effritement ou de glissement de terrain durant les mouvements de la pelle excavatrice.
- Profondeur totale du puits : 5,8 m.
- Section horizontale au fond : environ 2,2 m x 2,2 m. **IMPORTANT** : pour des raisons évidentes de sécurité, personne ne doit descendre au fond du trou, pour quelque raison que ce soit.
- Section horizontale à la surface : environ 4,3 m x 4,3 m. Elle est située à la même élévation que le terrain autour.
- Géotextile utilisé : Polyfelt TS 420; polypropylène de type non-tissé; aiguilleté à filament continu; résistance à la tension 490 N; élongation maximale + 50 %; résistance à la déchirure 220 N; résistance à l'éclatement 1 070 kPa; perméabilité 0,5 cm/s; propriétés selon les normes ASTM. Un immense sac cousu à la main sur place la veille du chantier a été confectionné avec ce matériau.
- Roche de remplissage : de la syénite (≥ 60 % feldspath alcalin + biotite + hornblende) néphélinique en provenance de la carrière DEMIX de Varennes; grosseur nominale des pierres passant le tamis 56 mm \emptyset à 112 mm \emptyset ; masse totale utilisée 45 300 kg; masse volumique réelle 2 540 kg/m³; masse volumique apparente pilonnée 1 420 kg/m³; masse volumique apparente lâche 1 330 kg/m³; pourcentage de vides d'environ 44 %; volume de roche enfoui d'environ 32 m³; réserve d'eau rapidement disponible d'environ 14 m³ quand le puits est plein, diminuant à environ 11 m³ pendant les périodes sèches (nappe phréatique plus basse, étiage).
- Tuyau utilisé pour atteindre le fond du puits et protéger la pompe submersible : CPV SDR 26 classe 160 psig, ACNOR B 137.1, diamètre nominal 6 » \emptyset , environ 50 perforations 10 mm \emptyset dans la partie inférieure du tuyau pour permettre à l'eau libre de circuler vers l'entrée de la pompe submersible et refroidir le moteur submersible par la même occasion.
- Pompe submersible Pompco de 4 » \emptyset nominal avec moteur Franklin $\frac{3}{4}$ HP; 240 Vca; débit volumique d'environ 80 litres/minute @ 415 kPa; l'aspiration de la pompe est située approximativement à 45 cm du fond du puits. C'est toujours le même ensemble pompe + moteur dans le puits depuis l'été 1991 et elle fonctionne encore en 2022.
- Temps de remplissage du puits avec un régime pluvial normal : environ 7 jours. Avec une pluviosité normale, depuis une dizaine d'années, le temps de remplissage a baissé à 4 ou 5 jours. Merci aux vers de terre!
- Temps de remplissage du puits en période de sécheresse : environ 20 jours.
- Le cabanon a été construit par-dessus la tête de puits en 1998 : donc, entre l'été 1991 (creusage du puits de surface) et l'automne 1998 (construction du cabanon), le sol a eu le temps de vraiment prendre sa place et la fondation en béton du cabanon n'a jamais bougé.

b) mesures de sécurité importantes

- Pour faire les travaux, on évite à tout prix une période pluvieuse : tout sera plus facile et sécuritaire si les travaux sont faits durant une période de temps sec, disons environ sept jours sans pluie.
- On prépare (coudre) le sac ou la poche de géotextile la veille ou quelques jours avant de creuser.
- On ne doit jamais s'approcher à moins de 200 cm du rebord du trou lors de l'excavation.
- Pour faire descendre le fond du sac de géotextile au fond du trou, on noue des cordes aux quatre coins supérieurs du sac et on les attache à des piquets préalablement plantés dans le sol, ensuite on leste le sac de quelques pierres et on le pousse en biais vers le fond du trou en s'aidant du tuyau 6" Ø, lui aussi attaché d'au moins deux cordes pour permettre de le centrer.
- Sous aucun prétexte, on ne doit permettre à quelqu'un de descendre au fond du trou. Ce serait extrêmement dangereux et en cas d'accident, cette « permission » serait assimilable à une négligence criminelle.

c) quelques commentaires

- Avant de se lancer dans un tel projet, on doit s'informer auprès de l'ingénieur municipal, de l'inspecteur municipal ou d'un entrepreneur en construction de la localité pour avoir une idée de la profondeur de la nappe phréatique. On peut aussi faire un test avec une tarière de pédologie (p. ex., Eijkelpamp 7 cm Ø, disponible chez [www.hoskin.qc.ca]).
- Ce type de puits est relativement économique : en dollars canadiens de 1991, incluant la pompe, la somme déboursée était d'environ 2 500,00 \$ de matériel + les frais de creusage de 1 250,00 \$. La liberté d'arroser a un prix ! Par contre, sur 31 années, le coût est d'environ 121,00 \$ par année, un montant presque symbolique. Pour ce projet, nous n'avons reçu aucune subvention : ce projet a coûté un gros zéro dollar à nos concitoyens québécois ! En revanche, nous avons permis l'économie de milliers de mètres cubes d'eau potable qui n'ont pas été consommés pour irriguer.
- Cet aménagement, une fois installé, est sécuritaire. En effet, personne, même un jeune enfant, ne peut tomber au fond d'un tuyau de 6" Ø. Ce n'est pas le cas avec les puits absorbants ou les puisards en béton préfabriqué, qui de toute façon coûtent beaucoup plus cher à l'achat. Dans certaines circonstances, un puits absorbant ou un puisard en béton pourront être essentiels. On doit évaluer au cas par cas.
- Ce type de puits est extrêmement durable : en excluant la pompe qui devrait être efficace pendant 25 à 35 ans, le puits comme tel devrait pouvoir durer un siècle sans problème, à moins qu'on plante un arbre à racines envahissantes, tel qu'un saule pleureur (*Salix babylonica*) ou un érable argenté (*Acer saccharinum*) directement au-dessus.
- Avant d'installer un puits de ce type dans le sous-sol d'une maison en construction, il faut y penser par deux fois, particulièrement si le sol est argileux. Effet, il existe certains types d'argiles qu'on qualifie d'argiles « gonflantes », c'est-à-dire que lorsqu'on les humecte, elles prennent de l'expansion et inversement, lorsqu'elles sèchent, elles subissent un retrait important : cette glaise sèche est crevassée. Localisé à cet endroit, le puits de surface qu'on utilisera pour irriguer rabattra encore plus profondément le niveau de la nappe phréatique, entraînant potentiellement des fissurations de la fondation.
- Avant de creuser, on prévient les voisins quelques jours à l'avance, entre autres pour éviter que les enfants viennent voir les travaux de trop près... On doit aussi mettre des barricades de sécurité.

d) cas particulier d'un puits de surface aménagé dans un sol sablonneux ou caillouteux

La principale différence ici sera que le « trou » qu'on a vu pour le cas « argile » deviendra une sorte de « cratère » car la pente de creusage devra être inférieure à l'angle d'avalanche et inférieure ou égale à l'angle de talus naturel. Les sables et graviers sont des matériaux granulaires non cohésifs qui

« s'écoulent » relativement facilement. Donc, pour que tout se déroule dans des conditions sécuritaires, on ne devrait pas dépasser un angle d'environ 30 degrés au-dessus de l'horizon. À valider au cas par cas.

Si l'angle de talus naturel du sol en place n'est pas dépassé, alors il sera possible d'aller travailler au fond du cratère pour placer la toile géotextile et le tuyau de 6 » Ø. Encore là, si on a le choix, il est préférable de tout faire à partir du haut du trou. Avec une bonne planification des opérations et l'aide d'un entrepreneur en excavation qualifié, cela est possible.

Une difficulté supplémentaire pourra peut-être s'ajouter : une nappe phréatique plus profonde, vu que la zone environnante est recouverte d'un sol qui se draine beaucoup plus vite que de l'argile. À partir d'une certaine profondeur, il sera plus économique de faire forer un puits artésien.

Ci-dessous, vous trouverez des photos du projet de Varennes en 1991 et trente et une années plus tard, en 2022!

Projet de puits de surface pour capter l'eau de la nappe phréatique, Varennes, Montérégie, Québec



30 juillet 1991 – Phase de remblayage



30 juillet 1991 – pompe submersible insérée
On voit ici le tuyau de CPV SDR 26 de 6" Ø dans lequel la pompe submersible a été insérée. Des cordes ont servi à le haubaner pour le maintenir à la verticale. On voit un peu de la roche syénite néphélinique utilisée pour remplir du côté intérieur du sac en géotextile. La réserve d'eau occupe l'espace vide entre les roches.



17 mai 2022 – Le même endroit 31 ans plus tard. Un beau jardin et une pelouse écologique fleurie, un cabanon encadré par un tilleul d'Europe, un jeune pin suisse et un poirier en pleine floraison. Le cabanon a été construit en 1998 par-dessus le puits de surface.

Source : Normand Cossette

11. Conception des systèmes d'irrigation horticole

11.1 Quelques notions indispensables

Avant de commencer la conception d'un système d'irrigation horticole, il faut prendre conscience de quelques notions d'hydrodynamique, de l'importance de la texture et de la structure des sols et aborder la question des sols en milieux urbains.

a) l'hydrodynamique

Qui dit irrigation dit tuyauterie. Pour véhiculer l'eau jusqu'aux points d'émission (asperseur, émetteur goutte-à-goutte, etc.), il faut qu'elle passe par un réseau de tuyaux. Ceci entraîne des pertes de pression qui, si elles sont trop grandes, réduiront la qualité et l'efficacité de l'arrosage. Les fabricants d'équipements d'arrosage (Toro, Rainbird, Nelson, Hunter, K Rain, AZUD etc.) indiquent dans leur littérature technique la pression minimale, optimale et maximale requise à l'asperseur ou à l'appareil d'arrosage pour obtenir le résultat voulu.

En gros, l'écoulement de l'eau pressurisée dans un tuyau d'irrigation répond aux lois suivantes :

- Pour un diamètre de tuyau donné, plus le débit volumique est élevé (exprimé en litres d'eau/minute ou en gallons US d'eau/minute), plus la vitesse moyenne du filet d'eau dans le tuyau est haute et plus la perte de charge ou perte de pression par mètre linéaire de tuyau est grande. Ceci est dû à la friction du liquide contre la paroi solide du tuyau et à la turbulence qui augmente avec la vitesse. La norme BNQ (réf. 30, paragraphe V-5.5) préconise une vitesse d'écoulement ne dépassant pas 1,8 m/s, mais idéalement se situant en deçà de 1,5 m/s. Pour obtenir la vitesse moyenne du filet d'eau dans un tuyau, l'équation est très simple : Q = le débit volumique d'eau exprimé en (m³/s) divisé par A = la section intérieure du tuyau (surface du rond à l'intérieur du tuyau) exprimée en (m²) donne V = la vitesse moyenne du filet d'eau dans le tuyau, exprimée en (m/s) : $V = Q/A$.

En plus de préserver l'énergie de l'eau pressurisée (moins de pertes de charge), on évite aussi les problèmes causés par les pics de pression engendrés par les coups de bélier à la fermeture des valves.

- Plus l'eau est visqueuse, plus la perte de pression est importante. En effet, la viscosité de l'eau varie beaucoup en fonction de la température. À une température de +5 °C (p. ex., à la fonte des neiges), l'eau pure a une viscosité dynamique de $1\,534,7 \times 10^{-6}$ Pa·s tandis qu'à une température de +25 °C (p. ex., en pleine canicule) dans le sud du Québec, l'eau pure a une viscosité de $880,6 \times 10^{-6}$ Pa·s. La relation entre la viscosité et son effet sur les pertes de pression n'est pas linéaire, mais elle est significative. Ainsi, pomper l'eau sur la même distance et avec la même pression requiert plus d'énergie à +5 °C qu'à +25 °C. On peut approfondir le sujet en se familiarisant avec le concept du « Nombre de Reynolds », Re , une valeur numérique adimensionnelle.
- Plus la paroi intérieure du tuyau est rugueuse, plus la perte de pression est importante. Les tuyaux modernes en thermoplastiques extrudés ont des parois intérieures très lisses qui minimisent les pertes de pression par friction. En revanche, les tuyaux en béton fibreux (genre « Hyprescon ») ou en acier (particulièrement s'ils sont rouillés) ont des rugosités de paroi plus fortes. Il faut en tenir compte dans les calculs.

Un chiffrier électronique gratuit

L'auteur de cette partie du *Guide des bonnes pratiques d'économie d'eau potable en irrigation* a élaboré un chiffrier électronique permettant, à partir de la suite bureautique LibreOffice [<https://fr.libreoffice.org/>], de choisir par tâtonnement la grosseur des tuyaux dans un projet d'irrigation. Ce tableur, facile à utiliser, tient compte entre autres du diamètre intérieur et de la rugosité de la paroi du tuyau, de la tem-

pérature de l'eau d'irrigation, du débit volumique et de la longueur de tuyau. Le chiffrier de calcul des pertes de pression utilise l'équation de Stuart W. Churchill, publiée le 7 novembre 1977 dans la revue « Chemical Engineering », une des équations les plus fiables disponibles dans ce domaine.

- Dans les terrains ayant une pente forte, il faut toujours tenir compte des différences d'élévation sur le terrain parce qu'à chaque fois qu'on s'élève d'un mètre, la pression d'eau dans le tuyau diminue d'environ $\rho \cdot g \cdot h = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m} = 9810 \text{ Pa}$ ou environ 9,8 kPa (environ 1.4 psi) et inversement, à chaque fois qu'on descend d'un mètre, la pression d'eau dans le tuyau augmente d'environ 9,8 kPa. Sur les grands projets (irrigation agricole, terrains de golf, réseaux d'aqueducs municipaux), on doit impérativement tenir compte des changements d'élévation.

b) la texture des sols

Pour bien caractériser un sol et évaluer son potentiel comme réserve d'eau, il est utile, et souvent nécessaire, de connaître la classe texturale du sol.

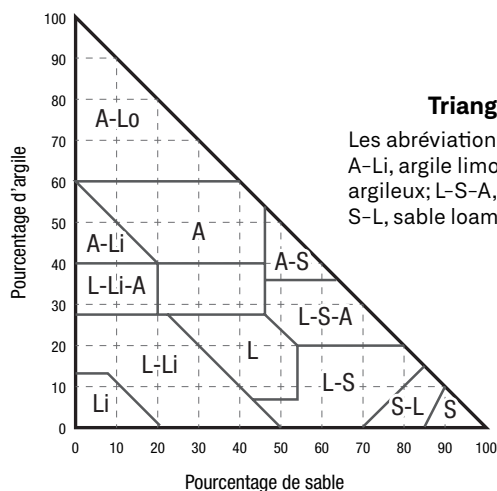
La classe texturale d'un sol dépend des proportions respectives en argile, limon et sable qu'il contient. Le tableau suivant montre les grosseurs de particules des différents types de sol selon le Système canadien de classification des sols.

Diamètre moyen de la particule minérale selon le Système canadien de classification des sols

| Nom de la Fraction | Diamètre moyen de la particule minérale |
|-------------------------------|---|
| Sable très grossier | de 2,0 à 1,0 mm |
| Sable grossier | de 1,0 à 0,5 mm |
| Sable moyen | de 0,5 à 0,25 mm |
| Sable fin | de 0,25 à 0,10 mm |
| Sable très fin | de 0,10 à 0,05 mm |
| Limon | de 0,05 à 0,002 mm |
| Argile | < 0,002 mm |
| Argile fine (ou ultra argile) | < 0,0002 mm |

Quand un sol est complètement organique et qu'il ne comporte aucune fraction minérale, par exemple les terres noires et les sols tourbeux, il n'y a pas de classe texturale. On parle alors d'horizon organique.

Ensuite, à partir du triangle textural du Système canadien de classification des sols, on peut déterminer s'il s'agit d'un loam argileux, d'un sable loameux, d'un limon, d'une argile limoneuse, etc.



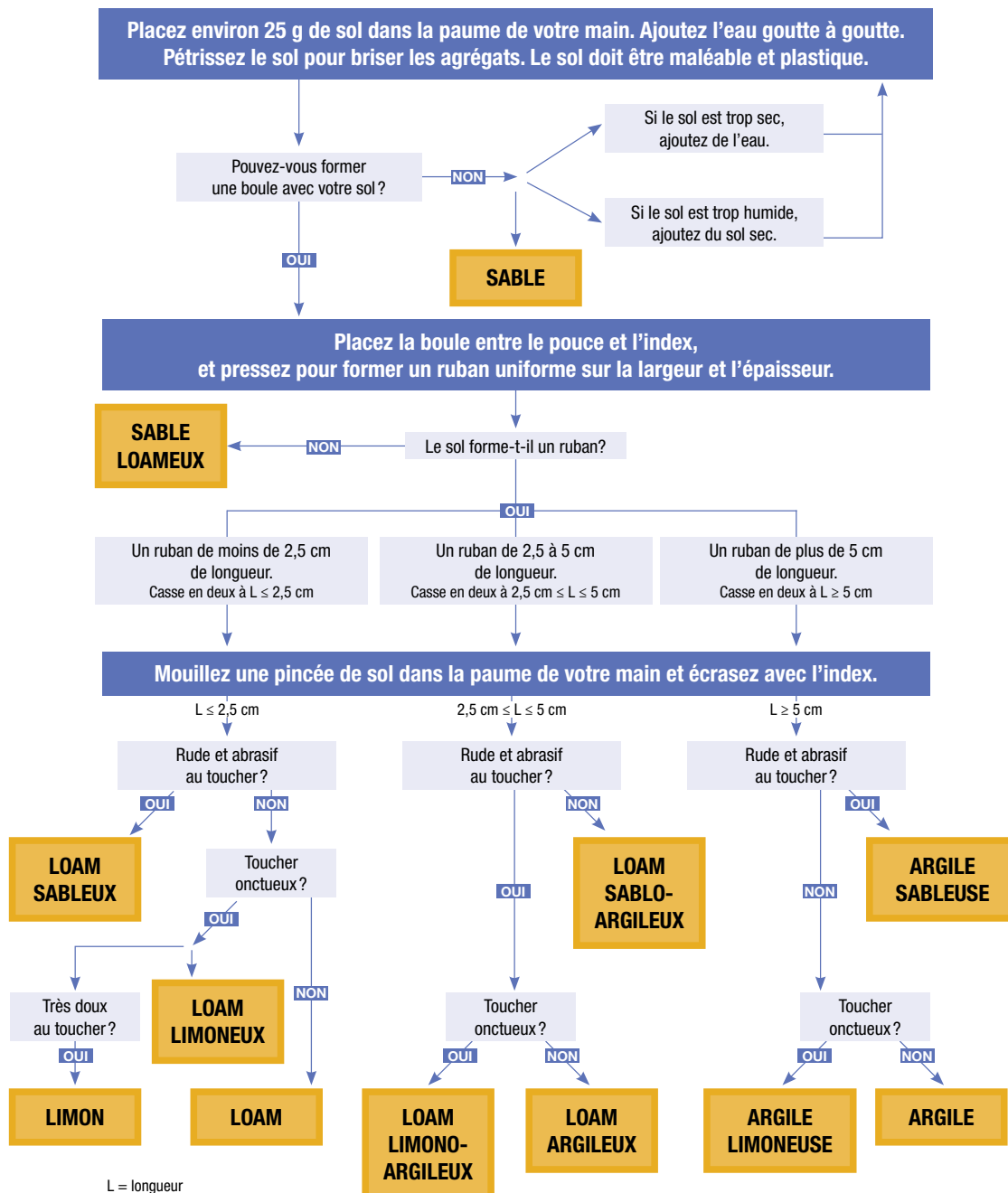
Triangle textural du Système canadien de classifications des sols (1987)

Les abréviations utilisées dans le triangle des textures (édition 1987) sont A-Lo, argile lourde; A-Li, argile limoneuse; A, argile; A-S, argile sableuse; L-Li-A, loam limono-argileux; L-A, loam argileux; L-S-A, loam sablo-argileux; L-Li, loam limoneux; L, loam; L-S, loam sableux; Li, limon; S-L, sable loameux; S, sable.

Méthode de Thien

Il existe un moyen simple et rapide d'évaluer au terrain, par le simple toucher, la classe texturale d'un sol. On procède à l'aide d'un schéma très ingénieux, imaginé par un dénommé Thien et enseigné autrefois par le Professeur Hani Antoun à l'Université Laval dans son cours d'initiation à la science des sols.

Schéma de Thien pour la classification texturale des sols au toucher



Légende :

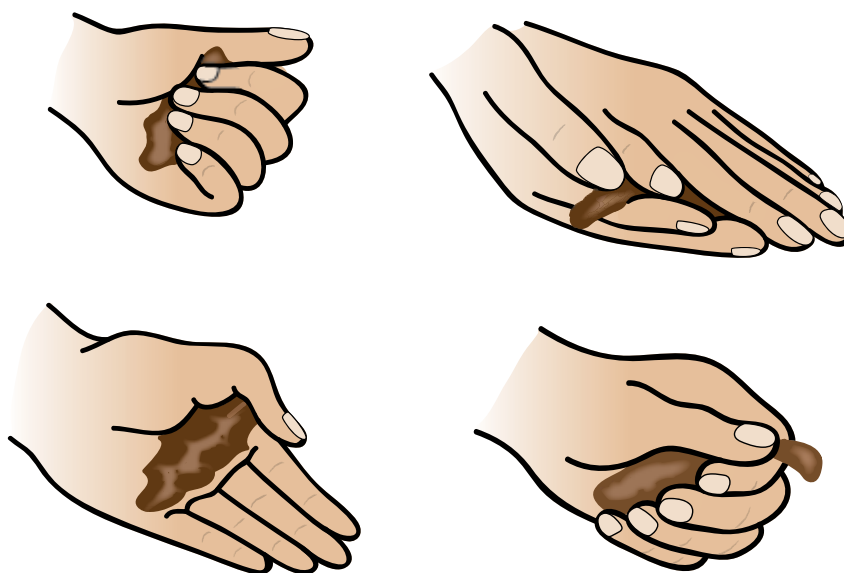
- **uniforme** : l'épaisseur du ruban et la largeur du ruban doivent être aussi lisses que possible (régularité des formes);
- **onctueux** : texture crémeuse mais très finement granuleuse, un peu comme du sucre à glacer. Si le sol n'est pas onctueux, il aura la texture d'une crème épaisse ou d'une sauce lisse, sans granule. À ce stade du Schéma de Thien, la distinction entre les différentes classes texturales se fait à partir de la longueur du ruban de sol qu'on peut former au bout de ses doigts avant qu'il ne casse en deux à cause de la force de gravité;
- **loam** : sol composé de parts relativement égales de sable, de limon et d'argile.

Il existe également d'autres façons de classifier la texture d'un sol au toucher.

Tests au terrain de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL)

Ces trois tests simples, présentés ci-dessous, vous aideront à déterminer la texture de votre sol :

- **sensation au toucher** : on assèche à fond et on écrase une petite quantité de sol en le frottant avec l'index dans la paume de l'autre main. On frotte une partie entre le pouce et les doigts pour mesurer sa teneur en sable. Plus on sent le sol granuleux, plus il contient de sable.
- **poignée de terre** (aussi appelé moule mouillé)* : on comprime une petite quantité de sol dans la main. En l'ouvrant, si le sol se tient (conserve sa forme), on le fait passer d'une main à l'autre. Plus le sol conserve sa forme longtemps, plus il contient d'argile.
- **ruban de terre*** : on roule une poignée de sol humide en forme de cigarette et on le comprime entre le pouce et l'index pour former le ruban le plus long et le plus mince possible. Le sol à forte teneur en limon forme des flocons ou laisse des empreintes de pouce plutôt qu'un ruban. Plus le ruban est long et mince, plus la proportion d'argile est élevée.



Détermination de la texture du sol, le test de la poignée de terre (à gauche) et le test du ruban de terre (à droite), (SCHL, 2004)

Source : Municipalité régionale de Durham

* Pour chacun de ces tests, le spécimen de sol doit être graduellement humecté, entièrement refaçonné et pétri pour conférer au spécimen le maximum de « plasticité » et pour en retirer les mottes sèches. On évite d'ajouter trop d'eau pour faire perdre au spécimen de sa cohérence ou sa cohésion.

Tests au terrains du Centre for Soil Resource Evaluation, Guleph, Ontario

Le Centre for Soil Resource Evaluation, Guleph, Ont. a également produit un tableau pour aider à déterminer la texture d'un sol sur place.

Tests sur place pour déterminer la texture d'un sol

| Texture | Sensation au toucher | Poignée de terre (moule mouillé) | Ruban de terre |
|------------------------|---|---------------------------------------|---|
| Sable | Matière granuleuse, peu farineuse | Aucun moule | Ne peut pas former de ruban |
| Sable loameux | Matière granuleuse, légèrement farineuse | Moule très faible, ne se manipule pas | Ne peut pas former de ruban |
| Sable limoneux | Matière quelque peu farineuse | Ne se manipule pas | Ne peut pas former de ruban |
| Loam sableux | Matière granuleuse, modérément farineuse | Faible moule, se manipule avec soin | Forme à peine un ruban – 1,5 à 2,5 cm (5/8 à 1 po) |
| Loam | Matière assez molle et lisse, mais manifestement granuleuse | Bon moule, se manipule facilement | Épais, mais très court – <2,5 cm (1 po) |
| Loam limoneux | Matière farineuse, légèrement granuleuse | Faible moule, se manipule avec soin | Forme des flocons plutôt qu'un ruban |
| Limon | Matière très farineuse ou onctueuse | Faible moule, se manipule avec soin | Forme des flocons plutôt qu'un ruban |
| Loam sableux-argileux | Matière fortement granuleuse | Moule de consistance moyenne | Court et épais 2,5 à 5 cm (1 à 2 po) |
| Loam argileux | Matière modérément granuleuse | Moule robuste de toute évidence | Assez mince, se brise facilement, supporte à peine son propre poids |
| Loam limoneux-argileux | Matière lisse, farineuse | Moule robuste | Assez mince, se brise facilement, supporte à peine son propre poids |
| Argile sableuse | Matière fortement granuleuse | Moule robuste | Mince, assez long, 5 à 7,5 cm (2 à 3 po), porte son propre poids |
| Argile limoneuse | Matière lisse | Moule très robuste | Mince et assez long, 5 à 7,5 cm (2 à 3 po), porte son propre poids |
| Argile | Matière lisse | Moule très robuste | Très fin et très long, >7,5 cm (3po) |

Source : Tableau adapté du *Field Manual for Describing Soils in Ontario* du Centre for Soil Resource Evaluation, Guelph, Ont. (réf. 40)

Test de sédimentation

Pour déterminer la classe texturale, on peut réaliser des tests de sédimentation simple dans des pots à conserve de type « Mason ». Consulter : [<https://www.rainbird.com/fr/particuliers/comprendre-votre-sol>].

c) Comprendre les sols en milieux urbains et apprendre à les voir selon 4 axes d'analyse

Nous l'avons vu, les Anthrosols, les bâtiments et les infrastructures urbaines ont des impacts sur le drainage et les nappes phréatiques. Le drainage accéléré et le rabattement des nappes phréatiques occasionnés par les drains de fondations et les emprises de rues sont de ceux-là.

Tous les sols peuvent être abordés et « décodés » selon 4 grands axes : l'axe temporel, l'axe biologique, l'axe physique et l'axe chimique. Nous empruntons cette vision des sols à Claude et Lydia Bourguignon, le couple célèbre d'agrobiologues-pédologues français (réf. 28). Voici un tour d'horizon.

- 1 - **L'axe temporel.** Il y a des sols « nouveau-nés », il y a des sols matures ou « adultes », il y a des sols vieux, mourants ou même « morts ». En horticulture ornementale, on a tout intérêt à connaître les années de construction du quartier ou du voisinage. En quelle année furent érigés les bâtiments principaux ? En quelle année les travaux pour les infrastructures municipales telles que l'aqueduc, l'égout pluvial, l'égout sanitaire, l'emprise de la rue ou du boulevard ou les travaux d'asphaltage ont-ils été réalisés ? Pourquoi ? Il y a une énorme différence entre un Anthrosols de deux ans et un Anthrosols de quinze ans. En général, pour les sols modifiés par l'activité humaine, à condition qu'on intervienne intelligemment, les années écoulées améliorent visiblement les choses. Le sol en place, initialement perturbé, chamboulé ou renversé par les travaux d'excavation, de remblayage et de nivellement, gagnera en fertilité. Dans le climat du sud du Québec, disons dans les zones de rusticité hivernale 3 à 5, son « fonctionnement » redeviendra normal après environ 15 ans. Dans les meilleurs cas, on pourra déjà observer au bout de 7-8 ans l'Horizon A en formation sur une coupe de sol. En pédologie, le mot qu'on emploie pour le phénomène d'évolution des sols avec le temps est « pédogenèse ». En écologie, la pédogenèse fait partie des Successions écologiques, englobant aussi le changement de la végétation et de toutes les faunes (animaux, oiseaux, insectes) dans le temps. Une autre question importante qu'on peut se poser en regardant un aménagement paysager selon l'axe temporel est « En quelle année l'aménagement du terrain a été réalisé ? ». En milieu urbain, juste en regardant les arbres, on peut évaluer à peu près l'âge de l'aménagement.
- 2 - **L'axe biologique.** « Le point de départ de la mort d'un sol est sa mort biologique », Claude et Lydia Bourguignon (réf. 28). On ne saurait mieux dire. La fertilité et la santé d'un sol sont intimement liées à la biodiversité qu'on y trouve : vers de terre, collemboles, tardigrades, champignons mycorrhiziens, bactéries ou actinomycètes fixateurs d'azote (genres *Sinorhizobium*, *Rhizobium*, *Frankia*, etc.), bactéries qui dégradent la matière organique, la liste est interminable. Un sol en santé est un sol qui grouille de vie, où chaque être vivant joue un rôle utile et complémentaire, même parfois les pathogènes ou les ravageurs ! En effet, si des maladies surviennent ou des invasions d'insectes nuisibles se produisent, c'est peut-être le signe ou le symptôme qu'il y a un déséquilibre dans le petit écosystème de notre jardin. À nous de bien observer et, si nécessaire, d'intervenir intelligemment pour tenter de rétablir l'équilibre de cette biocénose miniature. C'est tout l'art de l'agriculture biologique et de l'horticulture écologique. Alors, comment avoir une idée de la biodiversité des sols ? On observe, on prend des photos, on creuse un peu la surface du sol pour voir si on trouve des lombrics, on consulte des spécialistes et on fouille dans des livres de référence. En voici deux : *Le sol vivant*, 3^e édition, 2010, par Jean-Michel Gobat, Michel Aragno et Willy Matthey de l'Université de Neuchâtel en Suisse (réf. 1). Le livre est encore disponible à partir de ce lien Internet : [<https://www.epflpress.org/produit/422/9782880747183/le-sol-vivant>]. Il y a aussi ce somptueux *Atlas européen de la biodiversité des sols*, publié à la fin du mois d'août 2010, disponible gratuitement en format PDF (réf. 41). Dépaysement garanti !

De nos jours, des laboratoires, tel le Laboratoire d'écologie microbienne de l'IRDA à Québec, disposent d'appareils hyper sophistiqués comme les séquenceurs Illumina MiSeq. Ces machines ultramodernes permettent à partir d'une petite pincée de sol d'inventorier la myriade de microorganismes unicellulaires ou pluricellulaires évoluant dans les sols vivants, par exemple les champignons mycorrhiziens.

- 3 - **L'axe physique.** Texture et structure du sol, conditions édaphiques, drainage, pente, exposition au soleil. C'est la façon la plus commune de voir les sols. La texture ou la granulométrie : sable, limon, argile ou un mélange d'un peu des trois. En connaissant la classe texturale du sol, on a une bonne idée de sa conductivité hydraulique, c'est-à-dire de la vitesse à laquelle le sol va se drainer par gravité. En gros, un sol sableux se draine vite et un sol glaiseux ou argileux se draine lentement. En vérifiant si les particules minérales du sol forment des agrégats ou des grumeaux stables, ou bien qu'au contraire elles sont détachées, pulvérulentes, on saura si le sol possède réellement une « structure ». Plus la pédogenèse évolue, donc plus le sol acquiert une maturité, meilleure devient sa structure, en parallèle avec son contenu en matière organique et sa fertilité générale. Pour aborder sérieusement un sol selon l'axe physique, il faut creuser quelques trous. Deux, trois ou quatre

par aménagement paysager suffiront. Avec quel outil creuser les trous dans le sol sans se déman-tibuler les bras? Réponse : avec une tarière de pédologue. Les meilleures sont appelées « tarières hollandaises » et font des trous de 7 cm de diamètre. Des rallonges de 1 m permettent d'aller assez creux, par exemple pour rejoindre la nappe phréatique. En creusant des trous à la tarière, on voit assez vite si une couche de sol compactée est présente. En milieu urbain et à proximité des bâtiments, en particulier sur les sols argileux, le va-et-vient de la machinerie lourde durant la période de construction crée presque toujours une couche de sol fortement compacté, disons entre 15 cm et 100 cm de profondeur. Dans la conception des aménagements paysagers et pour toute intervention sur le terrain, on doit prendre en considération la présence ou l'absence d'une couche de sol compacté.

- 4 – **L'axe chimique.** Ici, l'expression « axe biochimique » serait mieux choisie si on souhaite réellement pratiquer une horticulture authentiquement écologique. C'est ici qu'on jette un œil sur les grands cycles des éléments essentiels aux plantes, aux animaux et à toute la biocénose sur et sous terre. On parle de N, P, K, Mg, Ca, S, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo et quelques autres éléments du Tableau périodique. Si le sol est stérilisé (terreau d'empotage par exemple) ou biologiquement mort, tous les cycles naturels de minéralisation des éléments essentiels sont bloqués. On assiste alors au lessivage des éléments nutritifs labiles. Le piège des engrais chimiques se referme. L'axe biochimique d'analyse des sols est révélateur de sa biodiversité. La Nature a inventé les symbioses racinaires pour avoir des engrais naturels gratuits!

Un peu plus d'info sur les Anthrosoles

La plupart du temps, dans les villes, on a de la difficulté à identifier les sols en se basant uniquement sur les cartes pédologiques de l'IRDA. Toutes les cartes pédologiques existantes au Québec sont disponibles gratuitement à partir de cette adresse Internet : [<https://www.irda.qc.ca/fr/services/protection-ressources/sante-sols/information-sols/etudes-pedologiques/>]. Comme le plus souvent ces sols ont été remaniés, modifiés et parfois améliorés via l'ajout de terreaux préparés ou d'amendements, leurs horizons sont mélangés et indifférenciés, ce qui peut occasionner toutes sortes de problèmes physiologiques aux plantes ornementales, notamment celles qui sont moins résilientes. En apprenant à observer et à « décoder » ces sols chamboulés, on peut mieux concevoir l'aménagement des jardins et espaces verts et minimiser les besoins d'eau d'irrigation.

Pour comprendre les enjeux entourant l'utilisation raisonnée de l'irrigation en horticulture ornementale, toujours dans une optique de réduire ou d'éviter complètement l'utilisation d'eau potable, il faut démystifier la question des sols perturbés qui sont omniprésents dans les milieux urbains.

Il n'y a pas très longtemps que les pédologues (les spécialistes de la science des sols), se sont penchés sur la question des sols en milieux urbanisés. C'est en 1989 que l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'UNESCO ont introduit le néologisme « anthrosole » pour désigner les sols dans lesquels les activités humaines ont causé de profondes modifications aux horizons originaux ou les ont enfouis (réf. 7, page 231). Parallèlement, des équipes de pédologues allemands, russes, américains ont elles aussi commencé à démêler les nombreux paramètres entourant cette question. C'est en revanche l'Europe francophone (France et Suisse romande surtout) qui a le mieux réussi à classer les sols urbains en établissant cinq catégories, qui font maintenant partie du *Référentiel pédologique 2008* (Baize, Rossignol, Shwartz & Florentin, Éditions QUAE, 2008). Encore aujourd'hui, c'est le meilleur référentiel disponible pour la classification des sols perturbés par l'activité humaine. Ni le Canada ni les États-Unis n'ont de système aussi complet et nuancé à proposer.

Le Référentiel pédologique 2008 (réf. 7 pages 230 et 231) définit les Anthrosoles comme suit :

- **Anthrosoles transformés**

La partie supérieure du solum (profil de sol) est fortement transformée par des apports massifs ou de longues durées de matière organique ou de matière minérale. Ces matières modifient complètement les propriétés des premiers horizons, mais aussi transforment les processus de pédogenèse (évolution du sol) qui s'exercent sur les sols. Ce sont, par exemple, les sols des jardins familiaux ou ouvriers (jardins communautaires), les sols d'exploitations maraîchères, les sols de certaines plates-bandes florales et arbustives.

- **Anthroposols artificiels**

Sur des épaisseurs supérieures à 50 cm sont mis en place des matériaux non pédologiques d'origine anthropique et artificielle : gravats (gravier), décombres, scories, déchets, déblais de mines ou de carrières. Ils peuvent être récents, mais aussi anciens, et remonter aux origines de l'urbanisation. Ils peuvent aussi contenir des objets archéologiques. Ce sont par exemple les sols sur remblais anthropiques ou les sols des chaussées (rues, routes) ou trottoirs qui, en plus, peuvent être scellés par des revêtements bitumineux (asphalte).

- **Anthroposols reconstitués**

Ces sols sont constitués (élaborés sur place), sur des épaisseurs d'au moins 50 cm, avec des matériaux terreux provenant le plus souvent de couches arables (sols fertiles) prélevées lors de l'aménagement de zones industrielles, commerciales, autoroutières, pour la création des jardins et espaces verts urbains.

- **Anthroposols construits**

Ces sols sont le résultat d'une action volontaire de construction d'un sol (initier la pédogenèse) en utilisant des matériaux technologiques considérés comme des déchets, en vue d'y établir une végétation (génie pédologique). Exemple : la végétalisation de sites miniers en misant sur la transformation d'un sol minéral totalement infertile en sol fertile et vivant.

- **Anthroposols archéologiques**

Ces sols ont subi des modifications anthropiques anciennes, sur plus de 50 cm, avec la présence de plus de 20 % de débris d'activité humaine. Exemple : la Place Royale dans le Vieux-Québec.

Donc au Québec, en milieu urbain, pour l'horticulture ornementale en général, on travaille sur des sols anthropisés, dont les horizons pédologiques originels ont été fortement perturbés dans tous les sens, que ce soit horizontalement ou verticalement.

d) Les travaux d'infrastructures urbaines

Ils peuvent avoir de grands impacts sur la disponibilité en eau. Voici un exemple concret : l'aménagement d'une nouvelle rue. Disons que le sol superficiel est tourbeux (horizon organique) sur 45 cm. On décape la tourbe et on l'évacue. Le sol minéral en place est un sable grossier à drainage rapide, sur un dépôt de loam sablonneux. On installe l'égout sanitaire et l'égout pluvial d'un côté de la rue, à 300 cm de profondeur (excavation, déblaiement, remblayage, compaction) et l'aqueduc de l'autre côté de la rue, à 300 cm de profondeur (excavation, déblaiement, remblayage, compaction). On en profite bien sûr pour faire en même temps les embranchements qui permettront de raccorder les services à chacune des maisons prévues sur la rue (lotissements). On recouvre de 100 cm de gravier. On compacte. On coule le béton pour les trottoirs. On recouvre d'asphalte. On compacte. Conséquence sur la disponibilité de l'eau : le niveau moyen de la nappe phréatique locale a baissé d'au minimum un mètre. Un impact direct sur les besoins en irrigation.

La construction d'une résidence unifamiliale est un autre cas de figure. Voici un exemple hypothétique. La nouvelle construction est située en Montérégie, dans le triangle Saint-Laurent – Richelieu, sur une argile lacustre à faible conductivité hydraulique. L'arpenteur vient donner les positions et les profondeurs pour que l'opérateur de pelle hydraulique puisse creuser au bon endroit et à la bonne profondeur. Puisqu'on est dans une région où les hivers sont rigoureux, il faut creuser au minimum 120 cm plus bas que le sol d'origine, pour mettre la semelle d'empannement à l'abri du gel, sinon la fondation risque de bouger et les murs de se fissurer avec les cycles gel-dégel successifs. L'opérateur de pelle creuse et évacue les déblais du mieux qu'il peut dans ce qui sera la cour arrière et aussi un peu en avant de la future maison, parce que sinon il manquerait de place. Il en profite pour creuser une tranchée pour que le plombier puisse raccorder l'eau potable, l'égout pluvial et l'égout sanitaire. La compagnie embauchée pour faire la fondation arrive sur les lieux pour monter les coffrages de la semelle d'empannement. Coulée de béton. La bétonnière vide les quelque dm³ de béton excédentaires quelque part à côté de la

zone excavée. Le plombier vient rentrer les tuyaux à l'intérieur des limites de la future maison. Les coffrages du mur de fondation sont assemblés. Deuxième coulée de béton. Pour la deuxième fois, la bétonnière vide les quelque dm^3 de béton excédentaires quelque part à côté de la zone excavée. Démoulage du coffrage. Pose et raccordement du drain français (tuyau de drainage perforé, gravier tamisé de $\frac{3}{4}$ " \varnothing net et géotextile), tout le tour de la semelle d'empatement, pour éviter bien sûr que l'eau ne s'infiltré dans le sous-sol. On laisse durcir le béton quatre semaines (au moins 28 jours). On remblaie et on égalise le terrain avec un boueur (bulldozer). Le sol d'origine est ainsi recouvert d'une couche parfois très importante de sol excavé initialement dans le but de construire la fondation de la maison. Résultat : le profil de sol d'origine (solum), vivant, fertile et naturel est bouleversé, enfoui sous un sol prélevé profondément et de moindre qualité pour la croissance des plantes. Le boueur (bulldozer) a fait un beau travail, le terrain est bien égalisé, avec les bonnes pentes d'égouttement de surface. Toutefois, sur un sol argileux, le va-et-vient du boueur (bulldozer) a pour effet de compacter mécaniquement l'argile, qui à 60 cm de profondeur devient dure comme de la brique (couche de sol indurée), juste par-dessus le sol d'origine, qui était vivant, fertile et bien structuré. Désormais, ce bon sol est enfoui profondément et va lentement agoniser.

Conséquence sur la disponibilité de l'eau :

- avec le drain français, le niveau moyen de la nappe phréatique locale a baissé au moins d'un mètre tout le tour de la nouvelle maison et ne remontera jamais tellement plus haut que le radier du tuyau de drainage.
- à cause du va-et-vient du boueur (bulldozer), partout sur le terrain, il y a une couche de sol compacté qui coupe la frange capillaire (dans le cas des argiles, la remontée capillaire est un phénomène important) et qui rendra difficile, voire très difficile la pénétration des racines des plantes plus profondément vers la nappe phréatique, ce qui permettrait aux plantes ligneuses et pérennes d'avoir un approvisionnement en eau fiable et d'affronter plus facilement les aléas du climat. Probablement aussi que le drainage de surface, à partir d'une certaine distance du mur de fondation, sera moins bon et que le terrain mettra plus de temps à se ressuyer à la fonte des neiges.

Des impacts directs sur les besoins en irrigation des plantes.

Les conséquences de toutes ces actions, c'est que maintenant la maison est entourée d'Anthrosols transformés, constitués de remblais récents.

Ces cas, pourtant typiques, ne sont pas désespérés. Avec des pratiques de jardinage respectueuses des processus naturels, on peut en quelques décennies (entre 15 et 25 ans) rétablir un profil de sol presque normal, mais surtout rétablir un sol vivant, avec une pédogenèse un peu moins dérégulée lorsque comparée à celle d'un sol naturel, non perturbé.

Seul élément positif : au Québec, dans les zones densément peuplées, la nappe phréatique est souvent à une profondeur raisonnable, de moins de 6 mètres. C'est une ressource collective importante, en particulier comme réserve d'eau d'irrigation. On peut donc l'utiliser, notamment en installant un puits de surface, mais en respectant sur le long terme la capacité de recharge des nappes phréatiques.

e) L'analyse du site et le relevé de terrain

Avant de concevoir le système d'irrigation, un jardinier amateur a réalisé un plan de jardin ou un concepteur celui d'un plan d'aménagement paysager. La personne qui a conçu l'aménagement paysager a une influence déterminante sur la gestion durable de l'eau d'irrigation, en particulier celle de l'eau potable, qu'on devrait utiliser avec parcimonie et en dernier ressort.



Tarière de pédologue de type « hollandaise Edelman » avec une pointe pour sols loameux et une rallonge baïonnette

Source : Normand Cossette

Avant même de faire le choix des espèces de plantes et de procéder à leur disposition sur le terrain, le concepteur doit faire l'effort de vérifier les conditions globales du terrain, en plus d'apporter une attention toute particulière aux sols existants, et spécifiquement aux fameux Anthrosols.

Pour cela, il y a un outil tout désigné : la tarière de pédologue de type « hollandaise Edelman ».

Cet outil permet de vérifier facilement :

- la classe texturale à différentes profondeurs;
- la présence ou l'absence d'une ou plusieurs couches compactées;
- la profondeur de la nappe phréatique;
- le type de sol original qui était là avant la construction du bâtiment.

Grâce à lui, on peut aussi prélever des échantillons de sols pour envoyer au laboratoire (pH, macroéléments disponibles, oligoéléments disponibles, etc.).

Les informations recueillies ainsi sur le terrain permettent de faire un aménagement beaucoup plus efficace.

Éventuellement, au prix de quelques efforts, il faut bien l'admettre, la tarière de pédologue de type « hollandaise Edelman » permet même de « guérir » des problèmes de croissance chez des arbres qui veulent, mais ne peuvent, approfondir leur système de racines pour atteindre la nappe phréatique, à cause d'une couche de sol argileux compactée comme dans l'exemple ci-haut. Les tarières hollandaises permettent de forer à la main, assez facilement et sans tout massacrer autour, des trous de 7 cm Ø qui donneront une voie d'entrée aux racines de l'arbre. Cette technique a été expérimentée avec succès depuis une trentaine d'années.

Les meilleures tarières pour l'agronomie en général et pour l'horticulture sont les Eijkelkamp de 7 cm Ø, en vente chez Hoskin Scientifique [www.hoskin.qc.ca]. Le modèle de base comporte une poignée en « T » et une pointe conçue pour un sol loameux, permettant de creuser à environ un mètre de profondeur. Les rallonges d'une longueur d'un mètre, de type baïonnette, sont également disponibles et essentielles si on veut rejoindre la nappe phréatique. Il est possible de se procurer des pointes pour les sols argileux, loameux, sablonneux, vaseux (saturés d'eau), et même caillouteux. L'achat de cet outil représente un très bon investissement, mais d'autres marques feront tout aussi bien l'affaire.

11.2 Les éléments influençant la conception d'un système d'irrigation horticole

L'essentiel des informations requises pour faire un aménagement efficace de système d'irrigation horticole est contenu dans la Norme BNQ 0605-500-V/2019 R1 à la Section V, aux pages 83 à 104, PDF 109/238 à PDF 130/238 si on lit le document en format PDF (réf. 30).

Il est cependant fort utile de passer en revue les points importants.

a) effectuer le zonage des circuits d'arrosage en fonction de l'aménagement paysager existant ou à venir

Pour des raisons techniques, il est rarement possible d'arroser un jardin partout en même temps. Les débits d'eau requis seraient beaucoup trop forts et le réseau de tuyauterie, avec ses diamètres plus grands, coûterait passablement plus cher. C'est d'abord pour cette raison qu'il est devenu évident qu'on doit subdiviser les surfaces à arroser en plusieurs « zones ». Cette règle s'applique autant pour l'arrosage automatisé que pour l'arrosage manuel. En principe, en faisant un bon zonage d'irrigation, jamais la capacité de la source d'eau (débit volumique d'eau et pression) ne sera dépassée. Il s'agit ici d'une limitation technique.

Ceci étant dit, il est vite apparu avantageux de profiter de cette nécessaire subdivision des secteurs à arroser pour « tailler sur mesure » les zones d'arrosage en fonction :

- de l'exposition des plantes au soleil;
- de l'architecture du bâtiment, p. ex. toit en mansarde, mur fenestré, portique ou corniches très larges;
- du type de plantation (gazon, massif floral, haies, massifs d'arbustes, rocailles, etc.);
- des pentes de terrain;
- de la vitesse de drainage des sols existants;
- etc.

Le concepteur du système d'irrigation fera preuve de tout son art en établissant un zonage à la fois pratique et respectueux des conditions sur le terrain.

Lorsque le plan d'irrigation est bien conçu, l'irrigation automatisée de même que l'irrigation manuelle permettent de s'adapter à toutes les configurations possibles, même les plus complexes.

b) tenir compte de l'évapotranspiration de référence

Il existe de plus en plus de produits relativement abordables qui permettent d'ajuster les durées d'arrosage en fonction de l'évapotranspiration de référence (ÉT₀), notamment les stations météo. Ci-contre, la mini-station météo *Hunter Solar-Sync* de conception récente. Il semblerait que Hunter Industries utilise ici l'approche « TURC » pour évaluer l'évapotranspiration. Voir les détails du produit sur cet hyperlien : [<https://www.hunterindustries.com/fr/product/solar-sync>].

Toutefois, on doit exercer son jugement et bien observer son jardin. Les sens de la vue, du toucher et de l'odorat permettent d'identifier le niveau de stress hydrique que connaissent les plantes à un moment donné.



Mini-station météo Hunter Solar-Sync

Source : www.hunterindustries.com/fr/product/solar-sync

c) établir le niveau de performance utile, nécessaire et suffisant

Seule règle à suivre ici : rechercher la simplicité et la qualité des équipements.

d) confirmer le niveau d'automatisation souhaité par le client

Dans ce cas, les choix dépendent beaucoup du budget et des conditions ayant été alloués ou prévus par le client en ce qui a trait à l'entretien préventif du futur système d'irrigation.

e) déterminer le budget disponible pour faire le projet et pour son entretien

Le client a tout avantage à jouer cartes sur table et à établir son budget pour le système d'irrigation à l'aide du spécialiste en irrigation, que celui-ci soit concepteur ou installateur, ou les deux à la fois. Il est préférable d'établir un climat de confiance dès le début, pour que le projet soit un succès et que tous y trouvent leur compte. Les projets sous-financés aboutissent rarement à des résultats heureux.

11.3 Les réglementations et normes influençant la conception d'un système d'irrigation horticole

Les réglementations ont souvent un caractère contraignant par rapport aux normes qui sont plus appliquées de manière volontaire.

a) Les règlements municipaux sur l'eau potable

Au Québec, il y a de nombreux règlements municipaux régissant l'utilisation de l'eau potable. Il faut s'informer chaque année pour connaître les nouvelles règles du jeu. À titre d'exemple, voici les règlements établis par la Régie intermunicipale de l'eau potable (RIEP) pour 2022. La RIEP approvisionne en eau potable les villes de Varennes, Sainte-Julie et Saint-Amable en Montérégie.

b) Le devis-type de l'Association Irrigation Québec

L'Association Irrigation Québec (AIQ) a développé un devis-type comprenant tous les éléments à considérer lors de l'installation d'un système d'irrigation, tant au niveau résidentiel que commercial ou municipal. Le devis est disponible gratuitement et est disponible à partir de cet hyperlien : [<https://www.irrigationquebec.org/images/PDF/Devis-type-en-irrigation.pdf>].

c) Norme BNQ 0605-500-V/2019 R1 à la Section V, aux pages 83 à 104, PDF 109/238 à PDF 130/238

En plus d'être testées avec succès sur le terrain depuis bientôt 33 ans, ce qu'on désignait autrefois par les « Normes pour la conception et l'installation de systèmes d'irrigation horticole » de l'Association Irrigation Québec, celles-ci ont été mises à jour et bonifiées et sont maintenant intégrées dans la norme BNQ mentionnée ci-haut. Même si ces normes ne sont pas contraignantes, les membres de l'Association Irrigation Québec se sont engagés à les respecter.

En Amérique du Nord, en grande partie à cause des normes élaborées depuis 1989 par l'Association Irrigation Québec, nous sommes un des endroits où la pratique de l'irrigation horticole est la mieux encadrée.



Tableau des heures d'utilisation de l'eau potable

| Arrosage, lavage ou remplissage | lundi | mardi | mercredi | jeudi | vendredi | samedi dimanche |
|---|---|--------------------------------|--|------------------------------|--|-----------------|
| Pelouse | N° pair 20 h à 22 h | N° impair 20 h à 22 h | INTERDIT | N° pair 20 h à 22 h | N° impair 20 h à 22 h | INTERDIT |
| Pelouse (système automatique seulement*) | N° pair 22 h à 24 h | N° impair 22 h à 24 h | | N° pair 22 h à 24 h | N° impair 22 h à 24 h | |
| Jardins, potagers, fleurs, arbres et arbustes Véhicules routiers Bâtiments | AUTORISÉ EN TOUT TEMPS Si effectué au moyen d'un boyaux d'arrosage muni d'un dispositif d'arrêt qui doit être activé manuellement lorsque le boyaux d'arrosage est utilisé. | | | | | |
| Allées et entrées | INTERDIT EN TOUT TEMPS | | | | | |
| Patageoire privée (sans système de filtration) | AUTORISÉ EN TOUT TEMPS | | | | | |
| Piscine | AUTORISÉ DU LUNDI AU VENDREDI | | En autant que le remplissage soit effectué sous la surveillance de l'occupant afin d'éviter tout débordement ou consommation excessive | | IMPORTANT Remplissage et mise à l'arrêt en MAI SEULEMENT Samedis : N° pair Dimanches : N° impair | |

* Système intégré de conduites automatiques et d'accès libre par une minuterie fonctionnant à l'électricité.



Le règlement de l'utilisation de l'eau potable établi par la Régie intermunicipale de l'eau potable (RIEP) pour 2022

12. Les types d'installations

12.1 Les critères de choix du matériel

S'il est une caractéristique du marché contemporain des systèmes d'irrigation, c'est bien l'abondance de choix, voire une surabondance de choix pour certains produits. Comment s'y retrouver? Que peut-on conseiller aux consommateurs et aux entrepreneurs en irrigation?

L'expérience a démontré que c'est toujours mieux d'établir son choix en fonction de la qualité et de la durabilité d'abord. On devrait placer le prix à la toute fin du processus de décision. Le prix, c'est la récompense qui vient après avoir fait du bon travail et après avoir livré ou installé des composantes de qualité. On ne doit pas se laisser bernier par les bas prix et ne jamais laisser libre cours à la compétition exacerbée, telle que celle qu'on observe parfois dans le commerce au détail. À ce jeu, personne n'est gagnant.

a) les tuyaux

Les éléments sur lesquels on ne devrait jamais faire de compromis sur la qualité, et par conséquent presque toujours sur le prix, c'est au niveau de l'ossature du système d'irrigation, en d'autres termes les tuyaux et les raccords. Vu les énormes écarts de températures annuels sur le territoire québécois, on devrait toujours choisir des tuyaux d'irrigation qui comportent une certification BNQ ou ACNOR (CSA). Bien entretenu, un réseau de tuyauterie d'irrigation pourra durer facilement une quarantaine d'années.

Pour l'irrigation des aménagements paysagers résidentiels, les tuyaux en polyéthylène sont les plus utilisés. Pour ce type d'application, on devrait de préférence choisir des tuyaux en polyéthylène de densité moyenne, à la fois certifiés BNQ 3660-950 et CSA B137.1 PE1404, dans une des deux catégories de pression, soit CSA 75 psig ou CSA 100 psig (psig = *pounds per square inch gauge*, l'unité de mesure étatsunienne pour la pression relative).

Il y a aussi sur le marché des tuyaux de polyéthylène à haute densité qui sont certifiés ACNOR (CSA), mais leur paroi est généralement plus mince et ils sont moins flexibles, à cause de la résine de polyéthylène utilisée, plus dense. Le tuyau est plus raide et parfois difficile à installer. Tous ces tuyaux (densité moyenne ou haute) sont disponibles dans des diamètres nominaux de 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2" et 2", de quoi s'adapter à des débits volumiques d'eau allant de 0 à environ 265 litres par minute (0 à 70 gallons US/minute).

Pour les tuyaux en chlorure de polyvinyle (CPV ou PVC en anglais), on devrait exiger la certification ACNOR (CSA) B137.3. Les tuyaux en CPV en provenance des États-Unis sont parfois fabriqués selon des normes moins exigeantes et font quelquefois montre d'une plus grande fragilité à basse température.

b) les raccords

Dans ce cas aussi, il faut favoriser le chlorure de polyvinyle CPV de qualité certifiée. Plus récemment, on a vu apparaître sur le marché d'excellents raccords encochés ou à insertion faits à 100 % d'acier inoxydable 304 : voilà un excellent choix pour les lignes d'amenée d'eau principales pressurisées plus longtemps que les ramifications latérales, par exemple entre l'électrovanne maîtresse et les électrovannes de zones. Voir cet hyperlien : [<https://images.boshart.com/boshartimages/2022/03/Canada-Full.pdf>] dans le document PDF à la page PDF 111/278.

Les raccords en CPV gris encochés et les colliers de serrage 100 % en acier inoxydable, de type Oetiker à deux oreilles (série PG 151 disponible jusqu'à 46 mm [www.oetiker.com]), en plus d'être économiques, ne rouilleront jamais et assurent un serrement du tuyau contre le raccord qui est réparti à la perfection sur 360°.

Pour les plus gros diamètres, on choisit si possible des colliers de serrage dont même la vis est en acier inoxydable (exemple : [www.mikalor.com]). L'inox, ça ne rouille pas et le réseau de tuyauterie d'irrigation autour de la maison sera un bel héritage à la génération suivante!

c) les vannes, valves et électrovannes

Elles sont essentielles, entre autres pour arriver à mettre en œuvre le zonage d'irrigation. Leur installation doit suivre attentivement les normes de l'A.I.Q. On doit se méfier de certaines marques de robinetterie métallique, vendu à prix imbattable et provenant de l'Asie ou de pays dits « émergents ». Certaines marques asiatiques ou de ces pays dits « émergents » sont excellentes, par contre d'autres valent moins que le métal revendu au poids.

d) les pompes

On doit préférer les pompes immergées (submersibles), car en principe, elles seront toujours bien amorcées et ne tourneront pas à vide. On confie l'installation électrique à un électricien qualifié. La Norme BNQ 0605-500-V/2019 R1, Section V – Irrigation comporte des recommandations à propos des pompes pour l'irrigation horticole.

e) les appareils d'arrosage

La meilleure stratégie consiste à faire affaire avec des fournisseurs reconnus, ayant pignon sur rue au Québec.

12.2 Les critères de coût du matériel

Les informations technico-économiques sur les systèmes d'irrigation sont plutôt rares. Le tableau qui suit présente quelques données et est tiré d'un article publié par l'auteur de ce guide en 1991. Plusieurs données proviennent de M.E. Jensen et al (réf. 17, page 58, tableau 3.1). Ce tableau, toujours d'actualité, permettra de calculer les coûts d'amortissement, de dépréciation et d'entretien pour n'importe quel système d'irrigation.

Critères de dépréciation ou d'amortissement économique des composantes de systèmes d'irrigation

| Composante | Dépréciation | Durée | Coûts d'entretien et de réparations annuels en % du coût d'achat initial |
|---|------------------------|---|--|
| Tuyau de polyéthylène certifié BNQ et CSA B1371, de préférence enterré, pour encore plus de durée utile | | 40 ans | 0,25 à 0,75 % |
| Robinetterie en bronze, laiton ou cuivre | | 20 ans | 2,0 à 6,0 % |
| Électrovannes de commande de l'irrigation, typiquement avec un électro-aimant 24 V c.a., 60 Hz | | 10 à 20 ans | 5,0 à 8,0 % |
| Minuterie ou contrôleur d'irrigation | | 10 à 15 ans | 3,0 à 6,0 % |
| Asperseurs et autres appareils d'arrosage | | 30 % des asperseurs remplacés au bout de 12 ans à 15 ans. Prévoir 100 % à changer au bout de 20 ans (recommandation de l'Association Irrigation Québec) | 5,0 à 8,0 % |
| Puits et cuvelage du puits | | 20 à 30 ans | 0,5 à 1,5 % |
| Bâtiment pour poste de pompage | | 20 à 40 ans | 0,5 à 1,5 % |
| Pompes à turbine verticale – volutes et roues | 16 000 à 20 000 heures | 8 à 10 ans | 5,0 à 7,0 % |

| Composante | Dépréciation | Durée | Coûts d'entretien et de réparations annuels en % du coût d'achat initial |
|--|------------------------|-------------|--|
| Pompes à turbine verticale – colonne et tête | 32 000 à 40 000 heures | 16 à 20 ans | 3,0 à 5,0 % |
| Pompe centrifuge, installée en respectant les exigences de NPSH | 32 000 à 50 000 heures | 16 à 25 ans | 3,0 à 5,0 % |
| Transmission par engrenages (liaison moteur-pompe) | 30 000 à 36 000 heures | 15 à 18 ans | 5,0 à 7,0 % |
| Moteur électrique triphasé | 50 000 à 70 000 heures | 25 à 35 ans | 1,5 à 2,5 % |
| Moteur électrique monophasé | 10 000 à 20 000 heures | 5 à 15 ans | 5,0 à 10,0 % |
| Moteur diesel | 28 000 heures | 14 ans | 5,0 à 8,0 % |
| Moteur à essence refroidi à l'air | 8 000 heures | 4 ans | 6,0 à 9,0 % |
| Moteur à essence refroidi liquide | 18 000 heures | 9 ans | 5,0 à 8,0 % |
| Fossés de ferme ouverts (canaux d'irrigation) | | 20 à 25 ans | 1,0 à 2,0 % |
| Structures bétonnées (canaux d'irrigation) | | 20 à 40 ans | 0,5 à 1,0 % |
| Tuyaux de chlorure de polyvinyle CVP ou « PVC » ou de fibrociment enterrés | | 40 ans | 0,25 à 0,75 % |
| Tuyaux d'aluminium avec sorties latérales, en surface | | 10 à 12 ans | 1,5 à 2,5 % |
| Tuyaux d'acier galvanisé, en surface | | 15 ans | 1,0 à 2,0 % |
| Tuyau de bois, enterré (cerclé d'un fil d'acier spiralé) | | 20 ans | 0,75 à 1,25 % |
| Tuyau d'aluminium, pour aspersion, en surface | | 15 ans | 1,5 à 2,5 % |
| Tuyau de plastique renforcé, enterré | | 40 ans | 0,25 à 0,5 % |
| Tuyau de plastique en surface, pour le goutte-à-goutte | | 10 ans | 1,5 à 2,5 % |
| Asperseurs | | 8 ans | 5,0 à 8,0 % |
| Émetteurs goutte-à-goutte, tuyaux avec goutteurs intégrés | | 8 ans | 5,0 à 8,0 % |
| Filtres et systèmes de filtration pour le goutte-à-goutte | | 12 à 15 | 6,0 à 9,0 % |
| Nivellement de terrain ** | | aucun | 1,5 à 2,5 % |
| Réservoirs, lacs artificiels ** | | aucun | 1,0 à 2,0 % |
| Rampe d'arrosage mobile, arroseur enrouleur | | 12 à 16 ans | 5,0 à 8,0 % |
| Système d'aspersion mobile et automoteur (p. ex., pivot central) | | 10 à 15 ans | 5,0 à 8,0 % |

** différentes durées d'amortissement ont déjà été utilisées (entre 7 et 50 ans) pour les nivellements, réservoirs et lacs artificiels : si un entretien adéquat de ces structures est effectué, on peut en pratique ne pas considérer la dépréciation de ces items.

Source : Normand Cossette. 1991. Article publié dans la revue L'Actual horticole, Québec Vert (anciennement FHOQ).

12.3 Irrigation manuelle ou automatisée ?

L'irrigation automatisée est la plus enviée, mais elle coûte aussi un peu plus cher. Elle permet éventuellement un arrosage impeccable, quasiment parfait des aménagements paysagers. En contrepartie, elle peut occasionner des gaspillages d'eau importants à la suite d'une mauvaise utilisation. Elle est également plus sujette à des pannes et à des bris divers qu'un système manuel.

L'irrigation manuelle est la meilleure méthode pour les passionnés du jardinage parce qu'elle permet de suivre de près l'évolution des végétaux et des conditions de sol pendant la belle saison. Laborieuse et parfois frustrante, elle peut demander beaucoup de temps. Si l'arrosage est confié à une personne qui ne dispose pas des compétences nécessaires, les résultats deviennent aléatoires et imprévisibles.

12.4 Aspersion ou micro-irrigation ?

L'aspersion est la meilleure méthode pour imiter la pluie. Elle permet de laver la poussière sur le feuillage des plantes et de dissoudre les accumulations salines en surface du sol, comme le ferait une pluie naturelle. Mal utilisée, cette méthode peut occasionner de l'érosion hydraulique. Les asperseurs à impact, de moins en moins répandus de nos jours, sont bruyants et donc à proscrire pour l'arrosage de nuit !

Le goutte-à-goutte et la micro-irrigation sont les méthodes qui utilisent le mieux chaque précieux millilitre d'eau. Ces systèmes ont malheureusement tendance au colmatage : il faut bien filtrer l'eau. Des bris fréquents des tubulures qui sont en surface ou très près de la surface du sol sont rapportés. Il ne « rince » pas le feuillage des plantes comme le ferait une pluie et il s'agit parfois d'un avantage (diminue la propagation des maladies fongiques, mildiou, etc.) ou d'un inconvénient (l'aspersion, contrairement au goutte-à-goutte, permet le rinçage du feuillage poussiéreux et le refroidissement évaporatif pendant les coups de chaleur).

13. Rodage, utilisation et optimisation d'un système d'irrigation

13.1 Limiter les besoins en adaptant l'irrigation aux conditions d'ensoleillement, au stade végétatif et aux conditions saisonnières

En plus de regrouper ensemble sur une même zone d'irrigation des plantes ayant des besoins semblables en eau et des plantes qui poussent dans le même type de sol, on peut également chercher à les regrouper en fonction de leur exposition au soleil. Le degré d'ensoleillement influence fortement l'évapotranspiration et il serait malvenu par exemple d'arroser sur une même zone d'irrigation des plantes qui sont au gros soleil toute la journée avec des plantes qui sont protégées par l'ombre d'un bâtiment pendant les heures plus chaudes.

Durant la saison de croissance des végétaux, avec un système d'irrigation automatique, il est relativement facile d'ajuster la durée d'arrosage en fonction du stade végétatif et des conditions climatiques saisonnières. En effet, la plupart des minuteriers d'irrigation comportent une fonction « ajustement saisonnier ». Parfois, il s'agit d'un simple bouton gradué entre 0 % et 100 % qu'il suffit de tourner pour que les durées d'arrosage s'ajustent immédiatement entre 0 % et 100 % des durées initialement programmées. Ainsi, durant une période pluvieuse, on peut arbitrairement réduire les temps d'arrosage selon ce qu'on croit être adéquat, par exemple tourner le bouton à 50 %. Le détecteur de pluie, obligatoire pour tous les systèmes et installés selon la Norme BNQ 0605-500-V/2019 R1, complétera le travail.

Il y a aussi la question des stades végétatifs des plantes ornementales qui peut devenir passablement déroutante. Pour simplifier, il suffit de retenir que, *grosso modo*, durant la floraison; le besoin en eau est maximal, durant la formation des fruits; le besoin d'eau est important, durant la maturation des fruits et la période d'aoûtement des plantes ligneuses; il ne faut pas trop d'eau et qu'on peut couper dans l'irrigation. Pour terminer la saison, avoir une pensée pour les conifères, les haies de thuyas et les plantes à feuillage persistant (p. ex., les rhododendrons) qui s'accommoderont volontiers d'une « recharge d'eau » du sol avant le long hiver, juste avant que le système d'irrigation soit hivérisé.

13.2 Contrôler la consommation d'eau

Comme on a pu le voir déjà, il existe toute une gamme d'appareils ou d'instruments qui permettent d'évaluer les besoins en eau d'irrigation et de « piloter » les arrosages. Mais qu'il s'agisse de tensiomètres ou de stations météo, rien ne pourra remplacer votre sens de l'observation et votre expérience en tant que jardinier. Le seul geste de se pencher et de prendre une poignée de terre pour en évaluer le niveau d'humidité peut vous en apprendre plus que la plus sophistiquée des stations météo. L'apparence du feuillage des plantes est également très révélatrice : une plante dont le feuillage est plus terne que la normale ou qui présente des reflets grisâtres indique généralement la présence d'un stress hydrique. Si le feuillage perd sa turgescence ou qu'il pend, même juste un peu vers le bas, alors il est urgent d'arroser.

13.3 Fractionner l'apport d'eau en fonction de la capacité d'infiltration de l'eau dans les sols

Si on connaît le taux moyen d'application de l'eau fournie par chacune des zones d'irrigation, exprimé en millimètre d'eau par heure, on peut déterminer la durée maximale d'arrosage qui permet d'éviter le ruissellement, en fonction de la pente de terrain et en fonction de la classe texturale du sol en place. On peut ainsi fractionner la dose d'irrigation pour éviter toute perte par ruissellement.

À l'aide d'une minuterie d'irrigation automatique, on y arrive plus facilement. L'entrepreneur en irrigation devrait se faire un point d'honneur de participer à cette démarche durant la période de rodage du nouveau système d'irrigation. En toutes circonstances, il est important de valider les durées maximales d'arrosage sur le terrain, en observant attentivement ce qui se produit dans la réalité. Un modèle reste un modèle : chaque terrain a ses propres caractéristiques.

En plus de la pente et de la texture du sol, tout un cortège de paramètres influence le taux réel d'infiltration de l'eau dans un sol. En général, plus un sol est vivant, mieux il est structuré (agrégats) et meilleur est le taux d'infiltration de l'eau dans le sol. La proportion de matière organique dans le sol joue également un rôle significatif. L'état et la densité du couvert végétal ont eux aussi une grande influence, toutes choses qui sont difficiles à modéliser. Dans l'ensemble, pour une dose d'irrigation donnée, il faut s'éloigner raisonnablement de tout risque de ruissellement et profiter de la nuit ou des heures d'arrosage permises pour espacer les cycles intermédiaires d'arrosage. Les minuteriers modernes d'irrigation offrent presque toutes cette souplesse d'utilisation.

Dans le tableau qui suit, on présente un tableau indicatif pour les taux d'infiltration de l'eau dans le sol en fonction de sa texture et de la pente du terrain.

Propriétés de différentes textures de sols en fonction de la pente de terrain

| Texture du sol | Taux d'application maximal consécutif pour éviter le ruissellement et l'érosion, en fonction de la pente du terrain | | |
|-----------------------|---|--------------------|---------------------|
| | Pente de 0 % à 5 % | Pente de 5 % à 8 % | Pente de 8 % à 12 % |
| Sable grossier | 38 à 51 mm/h | 25 à 38 mm/h | 19 à 25 mm/h |
| Sable moyen ou fin | 19 à 25 mm/h | 12 à 20 mm/h | 10 à 15 mm/h |
| Limon, loam | 7 à 12 mm/h | 6 à 10 mm/h | 3,5 à 7,5 mm/h |
| Loam argileux, argile | 3,5 mm/h | 2,5 mm/h | 2,0 mm/h |

13.4 Mettre en place une sécurité passive pour éviter le gaspillage d'eau

Le bon exemple à suivre est dicté par la Norme BNQ 0605-500-V/2019 R1, Section V – Irrigation.

Entre autres, on devrait toujours installer une électrovanne maîtresse, même dans le cas d'un système d'arrosage manuel. Il existe des modèles simples fonctionnant à batteries 9 Vcc qu'on peut installer sur le robinet extérieur (filets 3/4 HT) et qui fermeront l'eau automatiquement au bout d'un certain laps de temps ou lorsqu'un certain volume d'eau prédéterminé aura coulé.

14. L'entretien préventif des systèmes d'irrigation

En septembre 2011, la SOFAD (Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec), en collaboration avec l'Association Irrigation Québec, a publié un excellent guide intitulé « Irrigation – Entretien Guide d'apprentissage » qui explique en détail les différentes procédures d'entretien saisonnier des systèmes d'irrigation. De plus, certains critères de conception des systèmes d'irrigation horticoles sont passés en revue et un chapitre entier traite de l'entretien des systèmes de micro-irrigation. Voir la référence bibliographique (23) à la fin de ce chapitre. Voici tout de même un résumé des opérations d'entretien au cours des saisons.

14.1 Au printemps

On remplit lentement le système avec de l'eau, en chassant l'air trappé dans la tuyauterie, mais en le faisant à basse pression, pour éviter les coups de bélier. On inspecte le système. On répare les asperseurs, valves, tuyaux et raccords brisés à la suite des opérations de déneigement ou par le gel à la suite d'infiltrations d'eau ou de vidange imparfaite du système d'irrigation. On ajuste et calibre les asperseurs, appareils de micro-irrigation, etc. afin de s'assurer qu'il n'y a pas de gaspillage d'eau. Au besoin, on reprogramme afin de s'assurer que l'on respecte les règlements en vigueur.

14.2 Durant l'été

On respecte les avis et règlements municipaux et, au besoin, on reprogramme temporairement le système. On relève le défi de réduire au minimum la consommation d'eau potable pour l'irrigation. On inspecte de temps à autre le système pour voir si la végétation est correctement arrosée, s'il y a des fuites ou si les asperseurs arrosent la rue plutôt que la pelouse.

14.3 Avant l'hiver

Ne pas fermer le système trop tôt : s'assurer que les conifères et autres végétaux à feuillage persistant ont reçu l'eau nécessaire, surtout dans le contexte des bouleversements climatiques. Ne pas attendre trop tard non plus. Dans la grande région métropolitaine, pas avant le 15 octobre mais sans toutefois dépasser le 20 novembre. À l'aide d'un compresseur d'air, on expulse l'eau du système d'irrigation. Il s'agit ici de la traditionnelle vidange automnale du système d'arrosage qu'un entrepreneur certifié en irrigation, membre de l'Association Irrigation Québec, exécutera avec professionnalisme.

15. Deux suggestions à l'attention des municipalités

Dans chaque village, chaque ville, chaque municipalité et chaque quartier des grandes villes à travers le Québec, installer et entretenir durant l'été une station météo reliée par adresse IP à leur site Internet respectif. De cette manière, les citoyens auraient accès quotidiennement à l'évapotranspiration mesurée près de chez eux et du même coup connaîtraient avec plus de précision la hauteur de pluie tombée localement. Au mois de mai 2022, un tel type de station météo coûte moins de 3 500,00 \$. Voir cet hyperlien pour mieux comprendre de quoi il s'agit : [<https://www.davisinstruments.com/products/wireless-vantage-pro2-plus-iss-with-24-hr-fan-aspirated-rad-shield?variant=39619858464929>].

Par ailleurs, il serait intéressant de mettre à la disposition des citoyens un site Web où l'on pourrait montrer en temps réel la consommation globale journalière en eau potable par rapport à la capacité maximale de distribution du réseau municipal, comme le fait la Ville de Drummondville [<https://www.drummondville.ca/citoyens/eau-potable-et-eaux-usees/consommation-deau/>], mais également où l'on pourrait voir la quantité d'eau tombée et la pertinence (ou non) d'arroser les pelouses, les potagers, les plates-bandes, etc.

Normand Cossette, agronome et ingénieur, spécialiste en réhabilitation écologique.
Juillet 2022



Références bibliographiques

1. Jean-Michel Gobat, Michel Argano et Willy Matthey *Le sol vivant : Bases de pédologie-Biologie des sols*, 3^e édition revue et augmentée, 2010, Presses polytechniques et universitaires romandes [www.ppur.org], Lausanne, Suisse, ISBN 978-2-88074-718-3, 819 pages.
2. Jean-Robert Tiercelin et Alain Vidal *Traité d'irrigation*, 2^e édition mise à jour et enrichie, 2006, Éditions Lavoisier Tec & Doc [www.tec-et-doc.com], Paris, France, ISBN 2-7430-0910-1, 1262 pages.
3. Michel Blay *La science du mouvement des eaux, de Torricelli à Lagrange*, 2007, Éditions Belin [www.editions-belin.com], Paris, France, ISBN 978-2-7011-3870-1, 288 pages.
4. Jacques Bonnin *L'eau dans l'antiquité – L'hydraulique avant notre ère*, 1984, Éditions Eyrolles, [www.editions-eyrolles.com], Paris, France, ISSN 0399-4198, 450 pages.
5. Raoul Calvet, Claire Chenu et Sabine Houot *Les matières organiques des sols – Rôles agronomiques et environnementaux*, 2011, Éditions France Agricole – GFA Éditions, Paris, France, ISBN 978-2-85557-182-9, 347 pages.
6. Saad Bennis, *Hydraulique et hydrologie*, 2^e édition revue et augmentée, 2007, Presses de l'Université du Québec [www.puq.ca], Québec, Québec, publié en collaboration avec l'École de technologie supérieure (ÉTS), ISBN (pour les P.U.Q.) 978-2-7605-1521-5, ISB (pour l'ÉTS) 978-2-9211-4563-3, 451 pages.
7. Michel-Claude Girard, Christian Walter, Jean-Claude Rémy, Jacques Berthelin et Jean-Louis Morel *Sols et environnement*, 2^e édition actualisée, 2011, Éditions Dunod [www.dunod.com], Paris, France, en collaboration avec l'Association Française pour l'Étude du Sol, ISBN 978-2-1005-54900-9, 896 pages.
8. Martin Smith, Richard Allen et Luis Pereira *Revised FAO methodology for Crop Water Requirements in Evapotranspiration and Irrigation Scheduling*, 1996, publié conjointement par The American Society of Agricultural Engineers, The Irrigation Association, The International Commission on Irrigation and Drainage, ISBN 0-929355-82-2, pp.116 à 123, 1166 pages.
9. Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Dirk Raes et Martin Smith *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*, 1998, tel que réimprimé en 2004, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO [www.fao.org], Rome, Italie, ISBN 92-5-104219-5, 301 pages.
10. Dirk Raes, *The ETo calculator – Evapotranspiration from a reference surface* (Land and water digital media series n° 36), version 3.1, 2009, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO [www.fao.org], Rome, Italie, ISBN 92-5-106266-8. CD-ROM et manuel d'utilisation de 36 pages.
11. Richard W. Zobel et Sara F. Wright, coéditeurs, avec de nombreux contributeurs, *Roots and Soil Management : Interactions between Roots and the Soil, Agronomy Monograph N° 48*, 2005, The American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, regroupés sous [www.agronomy.org], Madison, Wisconsin, États-Unis d'Amérique, ISBN 0-89118-159-8, 272 pages.
12. R. Wayne Skaggs et Jan van Schilfgaarde, coéditeurs, *Agricultural Drainage, Agronomy Monograph N° 38*, 1999, The American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, regroupés sous [www.agronomy.org], Madison, Wisconsin, États-Unis d'Amérique, ISBN 0-89118-141-5, 1328 pages.
13. Nigel Dunnett et Andy Clayden, *RAIN GARDENS – Managing water sustainability in the garden and designed landscape*, 2007, Timber Press [www.timberpress.com], Portland, Oregon, États-Unis d'Amérique, ISBN 978-0-88192-826-6, 188 pages.
14. Ouvrage collectif réalisé par la compagnie Degremont [www.degremont.com], *Mémento technique de l'eau*, 10^e édition, Tome 1 et Tome 2, 2005, Éditions Lavoisier Tec & Doc [www.tec-et-doc.com], Paris, France, ISBN 2-7430-0717-6, 1928 pages. Aussi disponible en langues russe et anglaise.
15. Jean-Robert Tiercelin, *L'eau et les espaces verts*, 2008, Éditions Lavoisier Tec & Doc [www.tec-et-doc.com], Paris, France, ISBN 2-7430-1070-3, 172 pages.

16. Clément Mathieu, Paul Audoye et Jean-Claude Chossat, *Bases techniques de l'irrigation par aspersion*, 2007, Éditions Lavoisier Tec & Doc [www.tec-et-doc.com], Paris, France, ISBN 2-7430-0946-2, 470 pages.
17. Marvin Eli (M.E.) Jensen, *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, ASAE Monograph n° 3, 1981, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, États-Unis d'Amérique, ISBN 0-916150-28-3, 829 pages.
18. Sané de Parcevaux et Laurent Huber, *Bioclimatologie – Concepts et applications*, collection *Synthèses*, 2007, Éditions Quæ [www.quae.com], Versailles, France, ISBN 978-2-7592-0047-4, 324 pages.
19. Anne Weill, Ph.D., agronome *L'évaluation visuelle de l'état du sol – La méthode du profil de sol agronomique*, 2009, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec C.R.A.A.Q. [www.craaq.qc.ca], Québec, Québec, ISBN 978-2-7649-0218-9, 47 pages, en couleurs.
20. J.L. Hatfield et J.M. Baker, coéditeurs, avec de nombreux contributeurs, *Micrometeorology in Agricultural Systems, Agronomy Monograph N° 47*, 2005, The American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America regroupés sous [www.agronomy.org], Madison, Wisconsin, États-Unis d'Amérique, ISBN 0-89118-158-X, 584 pages.
21. L'Association Irrigation Québec, *Normes pour la conception et l'installation des systèmes d'irrigation horticole*, 5^e édition, 2010, L'Association Irrigation Québec [www.irrigationquebec.org], Saint-Hyacinthe, Québec.
22. André Bentz, *Améliorations foncières – Hydrodynamique des sols agricoles – Physique des sols*, 3^{ème} édition revue et augmentée, 1983, notes de référence à l'usage des étudiants, Université Laval, FSA, Département des sols, 383 pages.
23. Christian Brunet, Serge Bujold et collaborateurs, *Irrigation – Entretien Guide d'apprentissage*, 1^{re} édition, septembre 2011, SOFAD Société de formation à distance des commissions scolaires du Québec, en collaboration avec l'Association Irrigation Québec et la F.I.H.O.Q., Saint-Hyacinthe, Québec, 110 pages, ISBN 978-2-89493-407-4.
24. Faurie, Claude; Ferra, Christiane; Médori, Paul; Dévaux, Jean; Hemptinne, Jean-Louis; 2012; *Écologie – Approche scientifique et pratique*–6^e édition; Éditions TEC & DOC – Lavoisier, Paris, France; [https://editions.lavoisier.fr]; 488 pages; ISBN 978-2-7430-1310-3. Livre très complet, récent et bien documenté, couvrant toutes les facettes de la science écologique. Le chapitre 3 contient une section détaillée sur les brise-vent, aux pages 165 à 170. Un brise-vent bien conçu permet des économies d'eau d'irrigation.
25. de Kervasdoué, Jean; Voron, Henri; septembre 2012; *Pour en finir avec les histoires d'eau – L'imposture hydrologique*; Plon, Paris, France; [https://www.lisez.com/livre-grand-format/pour-en-finir-avec-les-histoires-deau/9782259216104]; 309 pages; ISBN 978-2-259-21610-4.
26. Gouvernement du Québec; Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation; la Fédération québécoise des municipalités; le Réseau Environnement; l'Union des municipalités du Québec; la Ville de Montréal; la Ville de Québec; décembre 2021; *Stratégie Québécoise d'économie d'eau potable – HORIZON 2019-2025 – Rapport annuel de l'usage de l'eau potable 2019*; vi pages + 53 pages; document PDF de 60 pages; ISBN 978-2-550-83099-3. Disponible par téléchargement à partir de cette adresse Internet : [https://www.mamh.gouv.qc.ca/infrastructures/strategie/cartographie-et-rapports-annuels/].
27. Gouvernement du Québec ; *Rapport sur le coût et les sources de revenu des services d'eau*, publié au mois de juillet 2015 par le MAMOT, document PDF ISBN 978-2-550-72410-0. Disponible sur : [https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/grands_dossiers/strategie_eau/rapport_cout_et%20sources_revenus_services_eau.pdf].
28. Bourguignon, Claude; Bourguignon, Lydia; juin 2015; *Le sol, la terre et les champs – Pour retrouver une agriculture saine – Nouvelle édition* ; Éditions Sang de la Terre, Paris, France; 245 p.; ISBN 978-2-86985-326-3. Ouvrage très original, sans équivalent. Constamment guidé par un souci pédagogique, Claude et Lydia Bourguignon nous livrent ici une synthèse des connaissances acquises au fil d'une longue carrière d'agrolgues-pédologues. Ils nous expliquent en termes clairs le fonctionnement des sols vivants, comment les plantes se « nourrissent » et comment retrouver une agriculture saine et durable pour produire des aliments de qualité, dignes du terroir. Sommaire : Introduction; Le sol, milieu dynamique; Le sol, milieu vivant; Le sol et les plantes; Agrologie et la fertilisation du sol, de la faune du sol, des microbes du sol et des plantes; Le sol et les animaux; Le sol et le terroir; Conclusion; Glossaire; Bibliographie.
29. Ramade, François; mars 1998; *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau – Biochimie et écologie des eaux continentales et littorales*; publié avec le soutien de l'Académie de l'Eau par EDISCIENCE international, Paris, France; 800 pages; ISBN 2-84074-152-0.

30. Norme BNQ 0605-500 Aménagement paysager à l'aide de matériaux inertes (éclairage, irrigation, etc.) version PDF à jour en 2019, au coût de 25,00 \$, disponible à partir de ce lien Internet : <https://bnq.qc.ca/fr/normalisation/horticulture/amenagement-paysager-a-l-aide-de-materiaux-inertes.html>. Document PDF de 238 pages. Dans cette norme BNQ consacrée aux matériaux inertes utilisés dans les aménagements paysagers, toute la Section V de 22 pages concerne les systèmes d'irrigation utilisés en horticulture ornementale. Les pages qui nous intéressent en irrigation vont de la page PDF 109/238 à la page PDF 130/238. Plusieurs schémas et figures illustrent des montages typiques en irrigation des pelouses et jardins. Pour l'essentiel, cette norme BNQ se base sur la référence numéro (21) Normes pour la conception et l'installation des systèmes d'irrigation horticole, 5e édition, 2010, élaborée et améliorée au fil des années par l'AIQ à partir de l'année 1989.
31. Mathieu, Clément; Lozet, Jean; février 2011; *Dictionnaire encyclopédique de science du sol*, avec index anglais-français; Les Éditions Lavoisier TEC & DOC, Paris, FRANCE, [<https://editions.lavoisier.fr/agriculture/dictionnaire-encyclopedique-de-science-du-sol/mathieu/tec-et-doc/livre/9782743013196>; 733 pages; ISBN 978-2-7430-1319-6. Référence incontournable du langage pédologique pour tous les professionnels de la Science des sols. Beaucoup plus qu'un simple glossaire ou lexique, c'est un véritable dictionnaire encyclopédique bourré d'informations pertinentes, de tableaux, de schémas, d'illustrations et de photos. Notices biographiques des principaux pédologues et précurseurs célèbres de la science des sols.
32. Irrigation Québec–*Devis type pour un système d'irrigation* document PDF disponible sur : [<https://www.irrigationquebec.org/images/PDF/Devis-type-en-irrigation.pdf>].
33. Évelyne Barriault, agr. Vigne, 2012, p. 4, ISBN 978-2-7649-0265-3.
34. Reportage télévisé. P.O Zappa sur TVA, avril 2022.
35. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). (2005) Guide de référence technique en drainage souterrain et travaux accessoires, 68 p.
36. W.J. Rawls et D.L. Brakensiek. Estimating soil water retention from soil properties, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1982, vol. 108, pages 166-171, repris dans *Agricultural Drainage, Agronomy Monograph no 38*.)
37. Source : Normand Cossette, Pour une meilleure gestion de l'eau : des sources d'eau alternatives en irrigation horticole, conférence prononcée le 31 mars 2010 dans le cadre des Matinées de formation de l'Association Irrigation Québec.
38. Organisation mondiale de la santé (2006). *L'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, volume 1- Considérations d'ordre politique et réglementaire*, Tableau 2.9 du Volume 1.
39. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (2008). *Carte pédologique* mise à jour en 2008. [https://irda.blob.core.windows.net/media/3456/pedo_31h11201.pdf].
40. Denholm, K.A. et L.W. Schut, 1993. *Field Manual for Describing Soils in Ontario*. Centre for Soil Resource Evaluation, Guelph, Ont.
41. *Atlas européen de la biodiversité des sols*. Août 2010, disponible gratuitement en format PDF : [<https://op.europa.eu/fr/publication-detail/-/publication/7161b2a1-f862-4c90-9100-557a62ecb908/language-fr/format-PDF/source-172353937>].



3230, rue Sicotte, local E-300 Ouest
Saint-Hyacinthe (Québec) J2S 2M2
T. : 450 774-2228 | F. : 450 774-3556

quebecvert.com