

# Indices agroclimatiques pour faciliter la prise de décision en agriculture



**Auteure :** Dominique Plouffe, *B.Sc., assistante de recherche AAC, Saint-Jean-sur-Richelieu*

**Collaborateurs :** Gaétan Bourgeois, *Ph.D., chercheur, AAC, Saint-Jean-sur-Richelieu*  
René Audet, *M.Sc., agrométéorologue, AAC, Québec*  
Marie-Pier Lepage, *B.Sc.*

---

L'utilisation des indices agroclimatiques comme outils de travail dans le secteur agricole est relativement récente. Par exemple, l'emploi des unités thermiques maïs remonte aux années 1960. Plus récemment, l'évolution de la technologie, le perfectionnement des instruments de mesure et d'acquisition des données météorologiques et l'arrivée d'ordinateurs plus puissants ont contribué à l'utilisation de plus en plus courante de ces indices. Les principaux indices utilisés au Québec dans le domaine agricole sont relatifs à la température, soit les indices et les cumuls thermiques, ou relatifs à l'eau. Aussi, il existe plusieurs indices se rapportant spécifiquement à la saison hivernale.

## Les indices thermiques

### *Dates du dernier gel printanier et du premier gel automnal*

La date du dernier gel printanier correspond au dernier jour où la température minimale quotidienne est inférieure ou égale à une température de gel donnée, dépendante directement de la culture. Cet indice permet d'évaluer les risques associés aux cultures exposées à une date de gelée tardive. Plusieurs facteurs influencent l'effet qu'aura le gel sur une culture, dont le nombre d'heures d'exposition, le stade phénologique, la température du gel, etc. Ainsi, les dommages causés aux arbres fruitiers seront moindres si le gel survient avant la floraison et s'il ne dure que quelques heures. Par exemple, au stade de débourrement avancé, les bourgeons pourront supporter une température de - 5 °C avant que leur survie ne soit mise en péril, alors qu'au stade bouton rose ils seront sensibles à une température de - 2,2 °C. Le premier gel automnal, quant à lui, est associé au premier jour où la température minimale quotidienne enregistrée est inférieure ou égale à une température de gel donnée. La connaissance des probabilités de gel est essentielle pour la planification des semis et également pour évaluer le potentiel d'une culture dans une région. Dans un contexte de climat en constante évolution, il sera important d'évaluer ces dates de gel à long terme pour mieux gérer la production ou anticiper certains risques associés à ces changements.

### *Longueur de la saison de croissance*

La longueur de la saison de croissance est la période où les conditions climatiques d'une région permettent la croissance d'une culture. Elle est généralement associée à la période où la température se maintient au-dessus de 5 °C. La saison sans gel, quant à elle, est calculée entre le

dernier gel printanier et le premier gel automnal. Étant donné que cet indicateur est directement lié à la croissance et au développement des cultures, il constitue un outil particulièrement important dans la planification et la gestion de la production agricole. Selon certaines études, un allongement de la saison serait possible dans le futur, ce qui pourrait entraîner un bon potentiel de rendement chez les cultures fourragères pérennes, telle la luzerne, où plusieurs récoltes sont parfois possibles durant l'année. De même, dans l'objectif d'améliorer la production, des cultivars, variétés et hybrides plus tardifs pourraient être employés dans certaines régions initialement non adaptées pour ceux-ci.

### *Les cumuls thermiques*

#### 1. Degrés-jours de croissance

Les degrés-jours de croissance sont utilisés pour l'évaluation du développement des végétaux et des insectes dont la croissance dépend de la température et de l'accumulation d'une quantité de chaleur quotidienne. Le calcul des degrés-jours est basé sur le principe physiologique que la croissance et le développement cesseront en dessous d'un seuil désigné comme température de base, évalué de façon expérimentale et qui diffère selon les espèces et, dans certains cas, selon le stade spécifique de développement. Il existe plusieurs façons de calculer les degrés-jours de croissance (méthodes standard, triangulaire, sinusoïdale), mais la plus simple et la plus couramment utilisée est la méthode standard qui déduit une température de base de la température moyenne observée quotidiennement. Les méthodes triangulaire et sinusoïdale sont toutefois plus précises au début et à la fin de la saison de croissance, lorsque la température de base est supérieure à la température minimum de l'air et inférieure la température maximum mesurée pour une journée donnée. Les degrés-jours de croissance sont à la base de nombreux modèles prévisionnels utilisés dans des programmes de lutte intégrée. L'utilisation de ces modèles permet, entre autres, de cibler le moment le plus propice à l'application des produits phytosanitaires contre les ravageurs des cultures. Aussi, les cumuls thermiques combinés avec les dates de gel représentent un outil avantageux et facilement accessible lors de la planification des semis et des récoltes.

#### 2. Unités thermiques maïs

Les unités thermiques maïs (UTM) se décrivent comme le lien entre le taux de développement de la culture du maïs et la température de l'air. Elles correspondent à la quantité minimale de chaleur requise à la culture pour atteindre sa maturité, variant d'un hybride à l'autre. En général, la production de maïs-grain nécessite entre 2 300 et 2 500 UTM, ou davantage selon les hybrides. Il existe des cartes exprimant la valeur potentielle d'UTM que chaque région est susceptible d'accumuler au cours d'une saison, permettant aux producteurs de sélectionner les hybrides et les cultivars qui conviennent à leur région. Bien que cet indice soit d'une grande utilité lors de la planification de la production, il doit être employé avec certaines précautions : tout comme pour les degrés-jours, le calcul des UTM ne prend pas en considération certains facteurs influençant le développement des végétaux comme la photopériode, l'humidité du sol, le drainage et le type de sol.

### 3. Degrés-jours de froid (endurcissement automnal)

L'arrivée de l'automne entraîne une diminution progressive de la température et de la longueur des jours, déclenchant le processus d'endurcissement au froid des végétaux. Durant cette période, les plantes subissent plusieurs changements importants en vue d'assurer leur survie à l'hiver. Les degrés-jours de froid correspondent ainsi à une accumulation d'unités de froid sous une température de base donnée. L'utilisation des degrés-jours de froid permet d'évaluer les risques associés aux dommages que pourraient subir les végétaux en périodes de froid. Un changement dans les températures et la photopériode durant l'automne peut avoir un effet important sur l'endurcissement des végétaux. Ainsi, des températures automnales plus chaudes retardent le processus d'endurcissement des plantes, ce qui les rend plus sensibles aux premières gelées. Enfin, des périodes de dégel hivernal entraînent une perte d'endurcissement et une vulnérabilité aux températures froides qui surviennent par la suite au cours de l'hiver.

## **Les Indices hydriques**

### *Cumul des précipitations*

L'apport d'eau fourni par les précipitations est un des indices utilisés en gestion de l'irrigation en agriculture. Le cumul des précipitations sous forme de pluie est employé soit sur une base annuelle, mensuelle ou sur une période précise correspondant à la saison de croissance. Les quantités de pluie accumulées peuvent ainsi être calculées pour un territoire sélectionné, à une échelle de temps variable. Notons qu'une faible quantité de pluie durant une longue période peut correspondre à la même quantité d'eau qu'une précipitation de forte intensité sur une plus courte période.

### *Évapotranspiration*

L'évapotranspiration consiste en la perte d'eau du sol et du couvert végétal par évaporation et par transpiration des végétaux lors de leur processus vital. En utilisant plusieurs paramètres météorologiques, dont la température, la radiation solaire, la vitesse du vent ou la pression de vapeur, diverses équations ont été développées pour calculer l'évapotranspiration. Cet indice est très utile en période de déficit hydrique pour évaluer la quantité d'eau nécessaire pour irriguer une culture.

### *Bilan hydrique*

Le bilan hydrique est basé sur la disponibilité de l'eau contenue dans le sol, les pertes causées par l'évaporation et le lessivage, et les apports par les précipitations, l'irrigation et la remontée capillaire. Le bilan hydrique peut servir à calculer la productivité des végétaux ou la faisabilité d'une culture donnée dans une région donnée.

### *Indices d'assèchement du foin*

Pour les producteurs de cultures fourragères, l'indice d'assèchement du foin constitue un outil utile pour planifier les récoltes. La photopériode, le taux d'humidité, la température et la vitesse du vent sont utilisés pour prédire la capacité de l'air ambiant à évaporer l'eau contenue dans le sol et la végétation en une journée.

### *Indices de sécheresse*

La sécheresse peut causer des dommages considérables aux cultures en saison de croissance. L'humidité du sol diminue alors à un point tel que les plantes ne sont plus capables d'en extraire l'eau, provoquant ainsi leur flétrissement. Les différents indices couramment utilisés au Québec et ailleurs au Canada comme outil de gestion des productions ou d'assurance récolte servent à quantifier et à surveiller la sécheresse ou encore à prédire le rendement des récoltes. L'indice de sécheresse peut être obtenu à partir d'une série de données sur la température de l'air, les précipitations quotidiennes et le contenu en eau du sol. Depuis décembre 2009, plusieurs experts de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) ont adopté l'utilisation d'un indice de sécheresse météorologique universel. Basé sur la probabilité de précipitation, cet outil numérique se réfère à des relevés effectués sur de longues périodes de temps.

## **Les indices associés à la caractérisation de la saison hivernale**

### *Indices liés à l'endurcissement*

La préparation des cultures à la période hivernale est d'abord entamée par le processus d'endurcissement automnal. Si cette phase n'est pas suffisamment complétée, la culture risque de subir des dommages dus aux températures froides. L'humidité du sol et la couverture de neige influencent la survie des plantes à l'hiver. Certaines cultures sont bien adaptées à la saison hivernale, tel le blé d'hiver dont l'accumulation d'une quantité de froid est nécessaire pour compléter son développement (vernalisation), alors que d'autres sont plus sensibles aux gels hivernaux. On utilisera les indices associés à la caractérisation de la saison hivernale afin de bien choisir la culture ou le cultivar qui survivra aux températures froides d'une région donnée.

### *Indices liés à l'intensité et la durée des gels*

La résistance aux températures froides des cultures pérennes adaptées à l'hiver varie d'un cultivar à l'autre. Généralement, ces cultures peuvent supporter les conditions rigoureuses jusqu'à une température létale qui est propre à chacune et qui varie dans le temps pendant la saison hivernale. Des dommages aux tissus peuvent survenir au-dessus de cette limite létale, mais sans pour autant causer la mort de la plante. L'intensité d'un gel peut renseigner sur les dommages qui peuvent résulter des périodes de grands froids. La durée de ces gels est un indice important à considérer dans l'évaluation des dégâts occasionnés sur les cultures. Aussi, une température constante de froid extrême durant plusieurs jours n'aura pas le même impact sur le plant qu'une exposition durant un court laps de temps.

## **Conclusion**

Dans un contexte de climat variable et en constante évolution, la connaissance des indices agroclimatiques est primordiale dans le but de prévoir les impacts potentiels de ces changements sur l'agriculture. Les intervenants et les producteurs agricoles seront ainsi en mesure de s'adapter aux avantages et aux inconvénients qu'apporteront ces changements. Les travaux de recherche visant l'amélioration de la performance des indices constituent d'ailleurs un aspect très important dans ce domaine scientifique.

Le contenu de cette présentation se retrouvera dans un feuillet technique à venir, publié par le CRAAQ : *Indices agrométéorologiques pour l'aide à la décision dans un contexte de climat variable et en évolution*.

## Références

- Bélanger, G. et A. Bootsma. 2002. *Impact des changements climatiques sur l'agriculture au Québec*. 65<sup>e</sup> Congrès de l'Ordre des agronomes du Québec, Changements climatiques : comprendre pour mieux agir, 20 p.
- Bélanger, G. et A. Bertrand. 2005. *L'agriculture et le climat futur : opportunités et défis*. FrancVert. Vol. 2, N° 3. [Page consultée le 6 février 2011].  
<http://www.francvert.org/pages/23dossierlagricultureetleclimatfutur.asp>
- Bootsma, A., D. Anderson et S. Gameda. 2004. *Potential impacts of climate change on agroclimatic indices in southern regions of Ontario and Quebec*. Technical Bulletin. ECORC Contribution No. 03-284. 14 p.
- CRAAQ. 2002. *Réévaluation des unités thermiques disponibles au Québec pour le Maïs et le Soya*. [Rédaction : H. Laurence] Bulletin technique. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 20 p.
- GIEC. 2009. Communiqué de presse N° 872.
- Hufty, A. 2001. *Introduction à la climatologie*. Les Presses de l'Université Laval. De Boeck Université. 542 p.
- Lease, N., A. Pichette et D. Chaumont. 2009. *Projet d'étude sur l'adaptation aux changements climatiques du secteur de la pomme au Québec*. Direction de l'agroenvironnement et du développement durable. Ouranos et ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 58 p.
- Quiring, S.M. et T.N. Papakryiakou. 2003. *An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies*. Agricultural and Forest Meteorology 118: 49-62.
- Rochette, R., G. Bélanger, Y. Castonguay, A. Bootsma, et D. Mongrain. 2004. *Climate change and winter damage to fruit trees in eastern Canada*. Canadian Journal of Plant Science 84: 1113-1125.
- Savoie, P., G. Allard, G. Beauregard, A. Brunelle, G. Lefebvre, R. Michaud, F. Pelletier, M. Perron, A. Piette et P. Therrien. 2002. *Guide sur la production du foin du commerce*. Conseil québécois des plantes fourragères, 36 p.



Agriculture et  
Agroalimentaire Canada

Agriculture and  
Agri-Food Canada



## Indices agroclimatiques pour faciliter la prise de décision en agriculture

Dominique Plouffe, Gaétan Bourgeois, René Audet  
Marie-Pier Lepage

Canada

## Indices agroclimatiques

- ± 1920 : apparition de l'agrométéorologie
- ± 1950 : agrométéo devient une science
- ± 1960 : utilisation des UTM



Aujourd'hui, ordinateurs plus puissants, perfectionnement des instruments de mesure

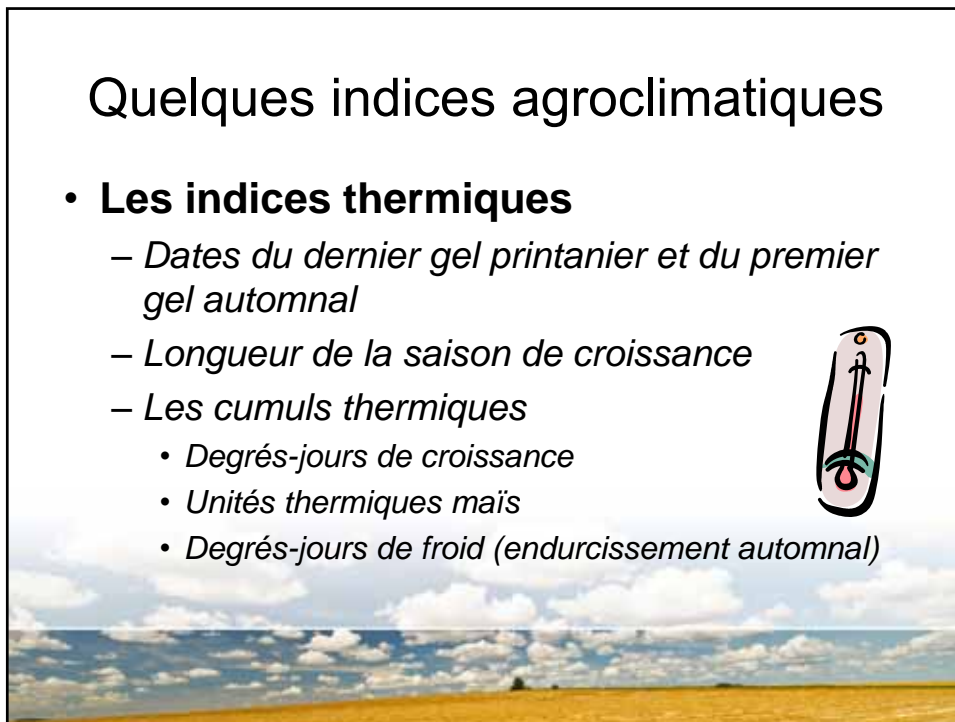


→ utilisation + courante des indices

## Quelques indices agroclimatiques

- **Les indices thermiques**

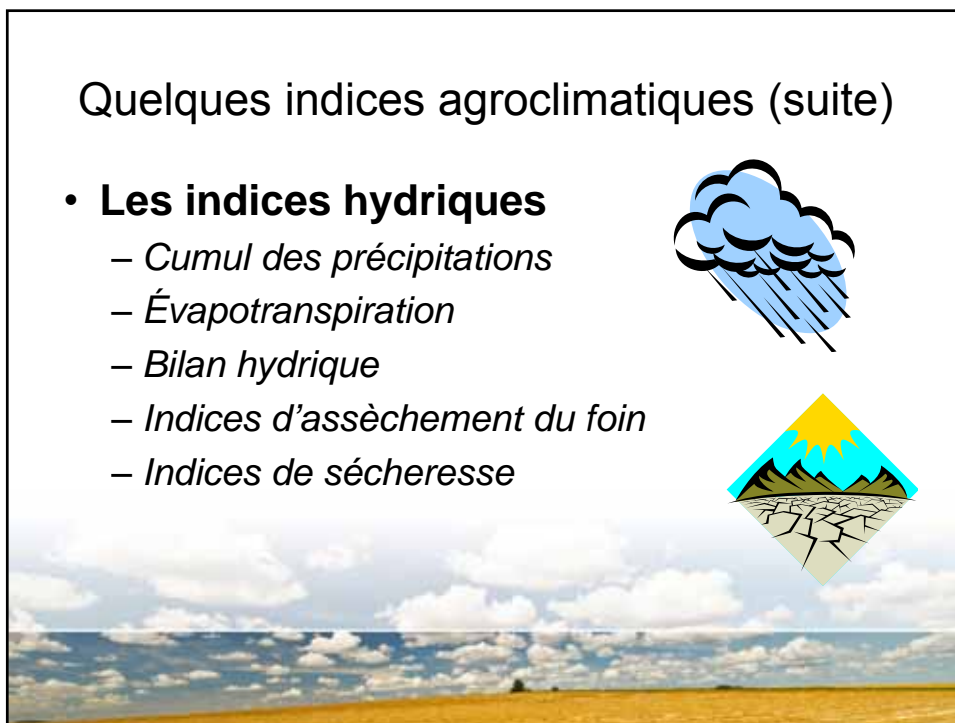
- *Dates du dernier gel printanier et du premier gel automnal*
- *Longueur de la saison de croissance*
- *Les cumuls thermiques*
  - *Degrés-jours de croissance*
  - *Unités thermiques maïs*
  - *Degrés-jours de froid (endurcissement automnal)*



## Quelques indices agroclimatiques (suite)

- **Les indices hydriques**

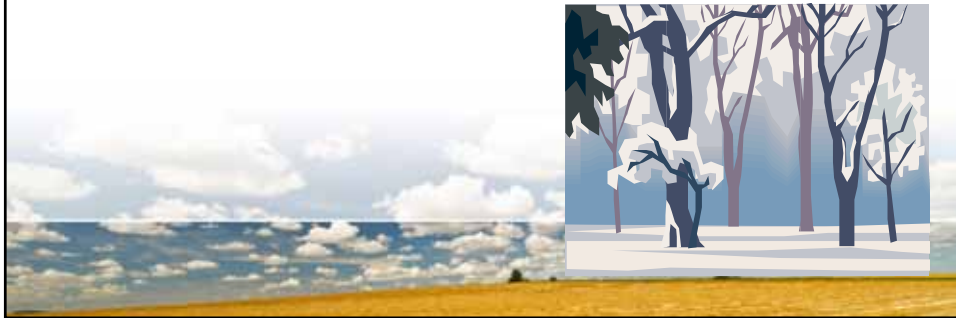
- *Cumul des précipitations*
- *Évapotranspiration*
- *Bilan hydrique*
- *Indices d'assèchement du foin*
- *Indices de sécheresse*



## Quelques indices agroclimatiques (suite)

- **Les indices associés à la saison hivernale**

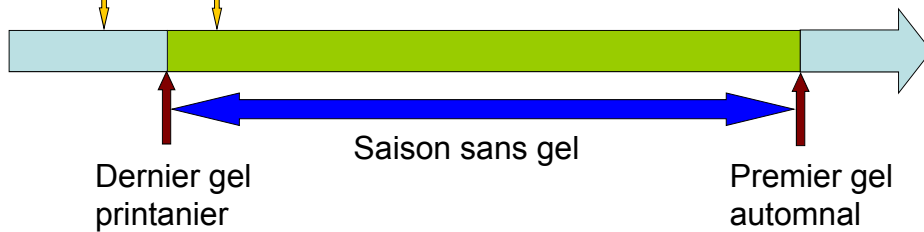
- Indices liés à l'endurcissement
- Indices liés à l'intensité et la durée des gels



## Les indices thermiques

Débourrement

ou



**Saison de croissance**

$T^{\circ} > 5^{\circ}\text{C}$

$\neq$  saison sans gel





## Indices thermiques

- T° de gel dépend de la culture
- Dommages causés par le gel varient
  - Stade phénologique
  - Durée (heures)

Ex. : gel des bourgeons des arbres fruitiers
- Longueur de la saison de croissance : essentiel pour planification des semis, évaluation du potentiel d'une culture dans une région donnée, le choix des cultivars/hybrides

## Les cumuls thermiques

- Degrés-jours de croissance
  - Température de base spécifique
    - à la culture
    - à l'organisme
    - au stade de développement  
(ex. : T base germination ≠ T base croissance des feuilles)
  - Plusieurs méthodes de calcul
    - Standard = 
$$\left( \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} \right) - T_{base}$$
    - Triangulaire
    - Sinusoïdale (Baskerville)
    - Etc.

## Degrés-jours de croissance : applications

- Modèles prévisionnels : phénologie des cultures et leurs ravageurs (ex. : insectes)
- Planification des semis et des récoltes
- Sélection de cultures appropriées pour une région donnée (potentiel d'une région)

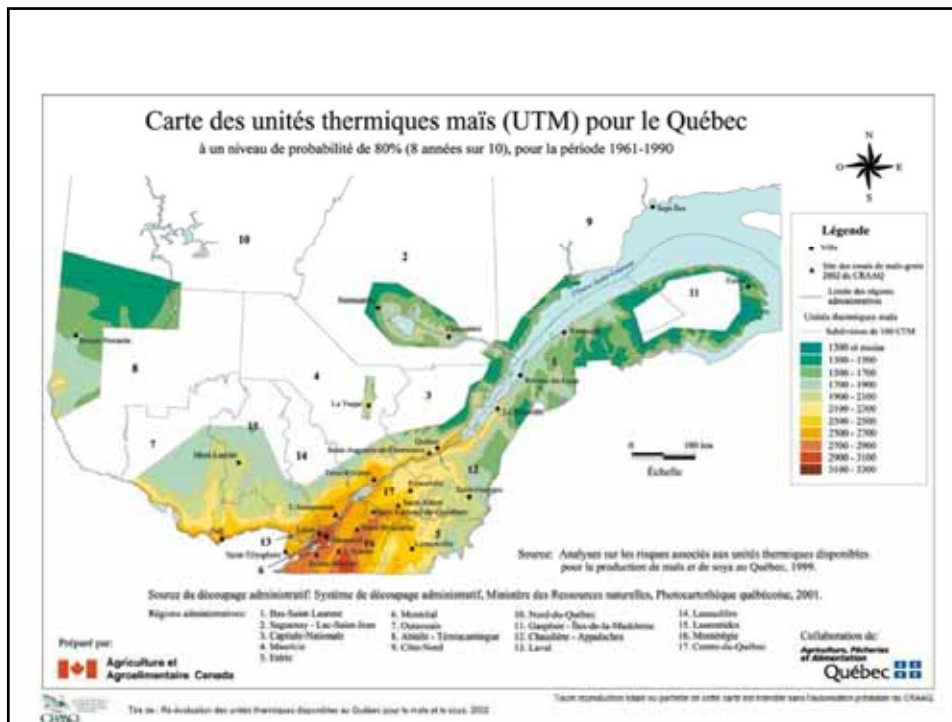
Limites : ne tient pas compte de la photopériode, de l'humidité du sol, du drainage, du type de sol.  
Réponse linéaire à la T°, même au-delà de T° optimale pour l'organisme.



## Les cumuls thermiques

- Unités thermiques maïs (UTM)  
Quantité minimale de chaleur requise à la culture afin d'atteindre sa maturité
  - Au Québec : accumulation entre 1 600 et 2 900 UTM, selon les régions
  - Maïs-grain : nécessite entre 2 300 et 2 500 UTM ou davantage (varie d'un hybride à l'autre)





## UTM : applications

- Caractérisation des régions
- Sélection de cultivars et d'hybrides qui conviennent à une région

Limites : ne tient pas compte de la photopériode, de l'humidité du sol, du drainage, du type de sol...



## Les cumuls thermiques

- Degrés-jours de froid : endurcissement automnal
  - Accumulation d'unités de froid sous une température de base
  - Risques associés aux dommages causés par le froid
- $\uparrow T^{\circ}$  automnales =  $\downarrow$  endurcissement, plantes + sensibles aux gelées
- Périodes de dégel hivernal =  $\downarrow$  endurcissement, vulnérabilité aux froids intenses



## Les indices hydriques

- Cumul des précipitations
- Utilisé en gestion de l'irrigation
- Sur une base annuelle
  - Sur une base mensuelle
  - Sur une période précise (ex. : saison de croissance)

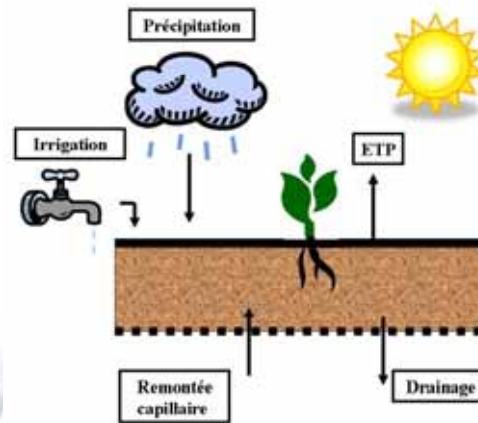


## Les indices hydriques

- Évapotranspiration

Calculée en utilisant  $T^\circ$ , rad. sol, vent, pression de vapeur...

Utile en période de déficit hydrique pour évaluer la quantité d'eau pour irrigation



## Les indices hydriques

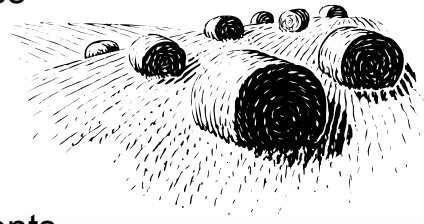
- Bilan hydrique

- Eau dans le sol
- Pertes par évapotranspiration, drainage, lessivage
- Apports par précipitations, irrigation, remontée capillaire

Peut servir à calculer la productivité, la faisabilité d'une culture dans une région

## Les indices hydriques

- Indice d'assèchement du foin
  - Planification des récoltes



- Indice de sécheresse
  - Prédiction des rendements



## Les indices associés à la caractérisation de la saison hivernale

- Endurcissement influencé par :
  - Date du 1<sup>er</sup> gel automnal
  - Humidité du sol à l'automne
  - Couverture de neige en hiver
- Intensité et durée des gels
  - Résistance aux T° varie d'un cultivar à l'autre
  - T° létale propre à chaque culture
  - Dommages varient selon intensité et durée des gels



## Conclusion

1. La connaissance des indices agroclimatiques est primordiale pour bien comprendre les facteurs climatiques qui influencent l'agriculture  
→ Outils essentiels dans la prise de décision
2. Prévoir les impacts potentiels des changements climatiques sur l'agriculture pour mieux s'adapter



## Les feuillets d'informations techniques

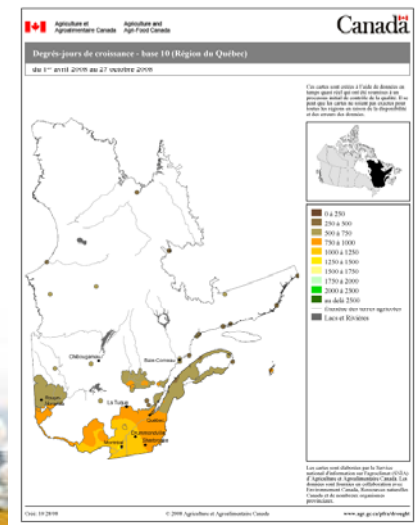
Lepage, M.P. et G. Bourgeois. 2011. **Indices agroclimatiques pour l'aide à la décision dans un contexte de climat variable et en évolution** (en rédaction)

### Collaborateurs et réviseurs

- René Audet (AAC)
- Gilles Bélanger (AAC)
- Lise Bélanger (FADQ)
- Dominique Plouffe (AAC)
- Gilles Tremblay (CÉROM)
- Patrice Mullier (FADQ)

### Coordonnateurs

- Denise Bachand (CRAAQ)
- Gaétan Bourgeois (AAC)
- Lyne Lauzon (CRAAQ)



## Les feuillets d'informations techniques à venir

- Modèles bioclimatiques pour la prédiction de la phénologie, de la croissance, du rendement et de la qualité des cultures (Août 2011)
- Modèles bioclimatiques pour la prévision des risques associés aux ennemis des cultures dans un contexte de climat variable et en évolution (Novembre 2011)
- Que nous projettent les scénarios climatiques futurs en termes de gestion des sols et de l'eau à la ferme? (Février 2012)



Agriculture et Agroalimentaire Canada    Agriculture and Agri-Food Canada



Colloque en  
**Agroclimatologie**

**Merci !**

Pour de l'information, veuillez contacter :  
Dominique.Plouffe@agr.gc.ca

