

Système de Classification Climatique Multicritères (CCM) Géoviticole

Jorge TONIETTO et Alain CARBONNEAU

RÉSUMÉ - Le travail concerne en premier la méthodologie de caractérisation du climat des vignobles, à l'échelle du macroclimat des régions viticoles du monde (géoviticulture). Trois indices climatiques viticoles synthétiques et complémentaires (hydrique, héliothermique et nycthermique), validés comme descripteurs, sont utilisés : 1) Indice de Sécheresse - *IS*, qui correspond à l'indice de bilan hydrique potentiel de Riou, adapté ici dans des conditions précises de calcul, comme indicateur du niveau de présence-absence de sécheresse; 2) Indice Héliothermique - *IH*, qui correspond à l'Indice héliothermique de Huglin; 3) Indice de Fraîcheur des nuits - *IF*, indice développé comme indicateur des conditions nycthermiques de maturation. Ces indices sont représentatifs de la variabilité du climat viticole mondial liée aux exigences des cépages, à la qualité de la vendange (sucre, couleur, arôme) et à la typicité des vins. Le Système de Classification Climatique Multicritères Géoviticole (Système CCM Géoviticole), pour les régions viticoles au plan mondial est formulé sur la base des classes pour chacun des 3 indices climatiques, avec les éléments d'interprétation des résultats. Trois concepts formulés sont à la base du système : climat viticole, groupe climatique et climat viticole à variabilité intra-annuelle (pour les régions à plus d'une récolte par année). L'application du Système CCM Géoviticole est présentée sur une centaine de régions viticoles dans 30 pays. Le système est un outil de recherche dans le domaine du zonage vitivinicole. Il permet également de travailler à différents niveaux d'échelle, soit à l'échelle mondiale, soit à l'échelle plus grande - grande région viticole, petite région viticole, comme le démontrent les études réalisées. Il permet de mettre en relation le climat viticole et les éléments de la qualité du raisin et de la typicité des vins en fonction de la zone climatique.

Mots-Clés : vigne, macroclimat, mésoclimat, indices climatiques, classification climatique, système CCM géoviticole, qualité, typicité, vin, A.O.C., zonage, terroir.

1. INTRODUCTION

La limite de la géographie viticole du globe est établie essentiellement par la contrainte thermique. La vigne s'est répandue tellement dans le monde qu'on la trouve sous la plupart des climats. La qualité et la typicité des vins dépendent des facteurs naturels et des facteurs humains. On sait que, **au niveau mondial**, le climat des différentes régions viticoles est responsable pour une grande partie de la diversité des cépages cultivés, des produits viticoles, de la qualité et de la typicité des vins.

Un diagnostic de l'état des connaissances actuelles dans le domaine viticole permet de s'apercevoir que peu d'études sont disponibles sur le climat au niveau de l'ensemble de la viticulture mondiale. On vérifie que l'on connaît mal la diversité **macroclimatique** dans le vignoble mondial, même au niveau de certains types de climat où la viticulture est très répandue, comme dans le climat méditerranéen par exemple.

Les indices climatiques disponibles pour caractériser les régions viticoles restent surtout thermiques (Amerine et Winkler, 1944; Branias *et al.*, 1946; Huglin, 1978). On note cependant, à travers diverses approches pour le développement des indices climatiques, la tentative d'intégrer l'influence défavorable de la pluie pendant la période de maturation (Constantinescu, 1967). Les études de zonage plus récentes font ressortir l'importance de l'aspect hydrique (Calò *et al.*, 1992; Riou *et al.*, 1994). Mais on n'a jamais intégré la composante hydrique sous la forme d'un **bilan hydrique** au niveau d'une caractérisation climatique de la viticulture mondiale. De même, pour une évaluation de l'aspect **thermique** qui intervient pendant la **période de maturation** du raisin, on ne dispose pas d'indices climatiques plus spécifiques.

Il manque une véritable analyse plus complexe, **multicritères**, avec des **indices synthétiques** qui intègrent la plupart des composantes importantes du climat pour la vigne. De plus, une approche de cette

nature n'a jamais fait l'objet d'une analyse au niveau mondial, dans le nouveau concept de la **géoviticulture**, qui correspond au traitement de l'information viticole à l'échelle mondiale (Carbonneau et Tonietto, 1998).

On peut conclure que les indices disponibles sont encore très insuffisants pour la caractérisation climatique des régions viticoles et pour élargir la compréhension de la grande variabilité climatique trouvée dans le vignoble mondial. La vitiviniculture mondiale **ne dispose pas d'un système de classification climatique** cohérent et performant. De ce fait, la tentative d'établir des regroupements des régions viticoles avec une certaine similarité climatique est également très limitée dans l'approche possible actuellement. La recherche présentée par la suite donne des réponses à cette problématique.

2. METHODOLOGIE DE CARACTERISATION DU CLIMAT VITICOLE MONDIAL

2.1. Base de données climatiques des régions viticoles au niveau mondial

L'une des contraintes pour la réalisation d'une étude de cette nature était de disposer d'une base de données climatiques assez large et représentative des régions viticoles mondiales. Pour cela, on a travaillé avec le support de l'Organisation Météorologique Mondiale - O.M.M., avec la collaboration des membres de la Commission de Météorologie Agricole - CMAg de chaque pays et avec d'autres institutions.

Les données des régions viticoles de la base de données établie correspondent aux moyennes interannuelles mensuelles des variables climatiques (température minimale, maximale et moyenne de l'air; pluviométrie; humidité relative de l'air; vitesse moyenne du vent; rayonnement solaire global et/ou durée d'insolation; et évapotranspiration potentielle de Penman) d'un poste météorologique normalisé situé au sein d'une région viticole.

Nous avons retenu 100 régions de 30 pays (Tableau 3) pour l'étude climatique. L'échantillon est représentatif du climat de la viticulture mondiale en termes de distribution géographique du vignoble mondial, de types de climats et de leur variabilité.

2.2. Indices climatiques pour la caractérisation du climat des régions viticoles

Les indices climatiques présentés ci-après résultent d'une étude préliminaire non rapportée ici qui a permis de tester leur pertinence sur une base de données élémentaires. Ainsi 3 indices climatiques ont été retenus pour l'étude générale. Ils sont de type hydrique, héliothermique et nycthermique (Tableau 1).

Tableau 1. Indices climatiques viticoles retenus.

Indice		
Type	Nom	Sigle
Hydrique	Indice de Sécheresse	<i>IS</i>
Héliothermique	Indice Héliothermique	<i>IH</i>
Nycthermique	Indice de Fraîcheur des Nuits	<i>IF</i>

Ces indices sont établis en fonction d'un cycle végétatif moyen de la vigne et à diverses périodes de ce dernier. Ils sont à la fois pertinents pour caractériser en tant que telles les potentialités climatiques d'une région, et fortement liés au potentiel qualitatif et aux caractéristiques du raisin ou des produits viticoles. Comme on le verra par la suite, ces 3 indices synthétiques apportent en outre des informations complémentaires les uns par rapport autres.

2.2.1. L'Indice de Sécheresse - *IS*

Jusqu'à aujourd'hui, le bilan hydrique n'a jamais été intégré dans l'étude du climat des régions viticoles au niveau mondial.

L'Indice de Sécheresse - *IS* est mesuré sur la base de l'Indice de Bilan Hydrique Potentiel de Riou (Riou

et al., 1994), dans des conditions précises de calcul. Il permet de caractériser la composante hydrique du climat dans une région viticole en prenant en compte la demande climatique perçue par un vignoble standard, l'évaporation d'un sol nu, la pluie sans déduction de ruissellement ni de drainage. Il indique la présence ou l'absence de sécheresse potentielle d'une région. Il permet donc d'avoir une idée de la disponibilité en eau dans le sol qui débute à une capacité maximale estimée sur une large gamme de sols, et qui pourra être comprise graduellement entre les niveaux maximaux et déficitaires, jusqu'aux régions où l'irrigation devient obligatoire.

Formule de Calcul - L'Indice de bilan hydrique potentiel de Riou, ici adapté dans des conditions précises de calcul décrites ci-dessous, est appelé Indice de Sécheresse (*IS*), et calculé par la formule :

$$W = W_0 + P - T_v - E_s$$

avec,

W = Estimation de la réserve hydrique du sol au terme d'une période donnée

W_0 = Réserve hydrique initiale utile du sol, exploitable par les racines

P = Pluie

T_v = Transpiration potentielle du vignoble

E_s = Evaporation directe à partir du sol

L'Indice de Sécheresse - *IS* est calculé sur une période de 6 mois. Les valeurs de W au moment initial et au moment final, et les dates initiale et finale selon l'hémisphère, sont reportées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Période pour le calcul de l'*IS* et valeur de W .

	Date dans l'hémisphère		Valeur du W
	Nord	Sud	
Moment initial	1 ^{er} avril	1 ^{er} octobre	$W = \text{réserve } W_0$
Moment final	30 septembre	31 mars	$W = IS$

Dans la formule précédente, T_v et E_s se calculent, mois par mois, par :

$$T_v = ETP \cdot k$$

ETP = Evapotranspiration Potentielle (total mensuelle), par la méthode de Penman

k = Coefficient d'absorption du rayonnement par la végétation

$$E_s = ETP/N \cdot (1-k) \cdot JP_m$$

N = nombre de jours du mois

JP_m = Nombre de jours par mois où l'évaporation à partir du sol est effective

(JP_m = Pluie du mois en mm/5 ; JP_m doit être \leq au nombre de jours du mois)

Valeurs de k adoptées :

- Dans l'hémisphère nord, $k = 0,1$ pour le mois d'avril, $0,3$ pour le mois de mai et $0,5$ pour les mois de juin à septembre.

- Dans l'hémisphère sud, $k = 0,1$ pour le mois d'octobre, $0,3$ pour le mois de novembre et $0,5$ pour les mois de décembre à mars.

W peut être négatif (W non plafonné), mais ne peut pas dépasser W_0 . L'indice est calculé, mois par mois, à partir des valeurs mensuelles de P , ETP , T_v et E_s . On appelle IS la valeur de W obtenue au moment final en suivant les règles ci-dessus et en adoptant $W_0 = 200$ mm. Cette valeur correspond à une moyenne estimée sur une gamme de sols.

Dans une seconde étape, il est intéressant de considérer le facteur hydrique avec son amplitude. Également, pour les régions avec un IS maximal, une information complémentaire pourra être obtenue avec la simulation du calcul de l' IS en adoptant $W_0=200$ mm au moment initial, mais sans plafonnement supérieur du W dans le calcul mois par mois.

2.2.2. L'Indice Héliothermique - IH

Plusieurs raisons ont joué sur le choix de l'Indice Héliothermique de Huglin dans notre étude. Cet indice fait intervenir la température diurne de l'héméroperiode où la photosynthèse est active ; également la longueur du jour, variable importante dans les latitudes élevées. Il informe sur le niveau de potentialité héliothermique, et est calculé sur une période biologiquement acceptable en moyenne. Il permet également d'avoir une idée plus juste du potentiel en sucres selon les cépages que les sommes de températures classiques, et apporte donc une information qualitative. En combinaison avec l'Indice de Fraîcheur des Nuits - IF (présenté ci-après), il permet une bonne discrimination climatique des régions quant aux conditions héliothermiques et nycthermiques. Toutes ces raisons justifient le choix par rapport à d'autres indices disponibles, notamment l'Indice de Winkler qui lui est assez proche mais moins pertinent vis à vis des facteurs qualitatifs ($r=0,98$ entre l'Indice héliothermique de Huglin et l'Indice de Winkler sur l'ensemble des 100 régions de l'étude).

Formule de Calcul - L'Indice Héliothermique de Huglin - IH (Huglin, 1978) est calculé par la formule :

- Dans l'hémisphère nord

$$IH = \sum_{01.04}^{30.09} \frac{|(T - 10) + (T_x - 10)|}{2} \cdot k$$

dans la formule, T = température moyenne de l'air ($^{\circ}C$),

T_x = température maximale de l'air ($^{\circ}C$),

k = coefficient *longueur du jour*, variant de $1,02$ à $1,06$ entre 40 et 50

degrés de latitude ($40^{\circ} 1'$ à $42^{\circ} 0'$ = $1,02$; $42^{\circ} 1'$ à $44^{\circ} 0'$ = $1,03$; $44^{\circ} 1'$

à $46^{\circ} 0'$ = $1,04$; $46^{\circ} 1'$ à $48^{\circ} 0'$ = $1,05$; et, $48^{\circ} 1'$ à $50^{\circ} 0'$ = $1,06$).

- Dans l'hémisphère sud, l'indice est également calculé sur la période de 6 mois allant du 1^{er} octobre au 31 mars.

L'indice est calculé à partir de moyennes climatiques mensuelles.

N.B : comme pour W , dans une seconde phase, l'amplitude de IH peut être prise en compte, en modulant ici selon la durée du cycle (arrêt au 15 août ou au 15 octobre pour l'hémisphère nord).

2.2.3. L'Indice de Fraîcheur des Nuits - IF

L'Indice de Fraîcheur des Nuits - IF est une variable nycthermique qui prend en compte les températures minimales ou nocturnes moyennes pendant le mois habituel de la maturation au-delà de la véraison. Le but est d'améliorer l'évaluation des potentialités **qualitatives** des régions viticoles, en rapport notamment

avec les métabolites secondaires (polyphénols, arômes). L'importance de ce facteur climatique sur la coloration et les arômes du raisin et des vins est souligné dans la bibliographie.

Formule de Calcul - La détermination de l'Indice de Fraîcheur des Nuits - *IF* se fait ainsi (Tonietto, 1999) :

- Dans l'hémisphère nord

IF = Température minimale de l'air du mois de septembre

(moyenne des minimales), en °C ;

- Dans l'hémisphère sud

IF = Température minimale de l'air du mois de mars

(moyenne des minimales), en °C.

N.B : comme pour *IS* et *IH*, dans une second phase, l'amplitude de *IF* peut être prise en compte en modulant la période (15 juillet - 15 août ou 15 septembre -15 octobre).

2.3. Poids de *IS*, *IH*, *IF* dans la description du climat

L'exploitation statistique en Analyse en Composantes Principales de la base de données mondiales et de la sous-base de données de la France, révèle que ces 3 indices rendent compte de plus de 90% de la variabilité climatique totale sur le cycle végétatif moyen de la vigne (Figure 1) (Tonietto, 1999). La discrimination des types classiques de climats est également perçue (Carbonneau & Tonietto, 1998).

2.4. Les classes de climat viticole et leur interprétation

L'adoption de la notion de classe de climat, pour arriver à une classification des régions viticoles, est liée au fait que chaque classe peut effectivement représenter non seulement des différences climatiques, mais encore des réponses de la vigne ou de ses produits aux facteurs climatiques définis par l'indice considéré. Elles permettent de ce fait de regrouper les climats des régions viticoles les plus homogènes.

Dans cette étude nous allons introduire un classement climatique multicritères, c'est à dire, en utilisant les 3 indices : *IS*, *IH* et *IF*. Pour réaliser un classement qui puisse être utilisé au niveau mondial, on cherche à établir un nombre de classes le moins grand possible pour chaque indice climatique viticole, ceci de façon à faire ressortir les différences les plus importantes entre les climats des régions viticoles. Cela veut dire que l'utilisation de tels indices pour l'étude de chaque région viticole au niveau mésoclimatique pourra être convenable si l'on établit des sous-classes pour chaque classe d'indice.

Les classes proposées pour les différents indices climatiques viticoles, et leur interprétation, sur la base de l'expérience en viticulture mondiale sur la base des données de l'étude, sont exposées dans les Annexes 1, 2 et 3 pour les indices *IS*, *IH* et *IF*, respectivement.

3. LE SYSTEME DE CLASSIFICATION CLIMATIQUE MULTICRITERES (CCM) GEOVITICOLE

Le **Système CCM Géoviticole** est un système de classement climatique des régions viticoles fondé sur les différentes classes des 3 indices climatiques - *IS*, *IH* et *IF*. Il établit le climat viticole de chaque région et permet le regroupement des régions dans les différents types climatiques. Ainsi, le système permet

l'identification de climats proches ou distants. Trois nouveaux concepts ont été formulés pour l'utilisation du système :

- a. **Climat Viticole** : le climat viticole est le **climat** d'une parcelle, d'une localité, d'un vignoble ou d'une région viticole, **décrit par l'ensemble des 3 indices climatiques viticoles**. Le climat viticole est donc établi sur la base d'informations climatiques et viticoles ce qui est plus spécifique que le climat au sens général du terme. Il est à noter que le climat viticole d'un lieu peut changer d'une année à l'autre, ce qui aboutit à deux sous-concepts : le **climat viticole moyen**, et **l'amplitude du climat viticole**.
- b) **Groupe Climatique** : le groupe climatique d'appartenance des parcelles, des localités, des vignobles ou des régions viticoles est un **ensemble** de parcelles, de localités, de vignobles ou de régions viticoles qui présentent **une même classe de climat viticole**. Normalement, le groupe climatique inclut une bonne partie des amplitudes (interannuelles) des climats viticoles.
- c) **Climat Viticole à Variabilité Intra-Annuelle** : ceci correspond aux régions qui changent de classe en fonction de la période de l'année au cours de laquelle le raisin peut être produit (concept utilisable pour les régions de climat tropical à plus d'une récolte de raisin par année). La méthode de caractérisation de ce type de climat est décrite par Tonietto (1999).

Le Tableau 3 présente aussi l'application du Système CCM Géoviticole pour les 100 régions viticoles de l'étude. L'ensemble des 3 indices avec 5 classes pour l'*IS*, 6 classes pour l'*IH* et 4 classes pour l'*IF*, permet théoriquement d'avoir un total de 120 groupes climatiques différents. Cependant un grand nombre de groupes climatiques ne se trouvent pas dans le climat viticole des régions du globe. Sur les régions de notre étude, 38 groupes ont été identifiés.

L'analyse en Composantes Principales - A.C.P., réalisée sur les résultats du climat viticole (moyen) des 3 indices - *IS*, *IH*, *IF* des 100 régions viticoles (Figure 1), a montré que les composantes principales 1 et 2 représentent 94% de la variabilité totale, ce qui renforce la capacité explicative de la variabilité du climat viticole du Système CCM Géoviticole. L'utilisation de l'A.C.P. permet également de connaître le positionnement relatif, soit des groupes climatiques, soit des régions viticoles, dans la viticulture mondiale (Tonietto & Carbonneau, 1999).

Le Système CCM Géoviticole n'est applicable qu'aux régions viticoles existantes, car il s'applique une fois pris en compte les critères climatiques limitants de la viticulture (risque de gelée, humidité excessive, etc.). En revanche, il peut contribuer à l'identification de nouvelles régions à potentiel viticole dans les limites de sa faisabilité.

Le schéma de fonctionnement du Système CCM Géoviticole est présenté sur la Figure 2.

Tableau 3. Système CCM Géoviticole : classification du climat viticole (moyen) de 100 régions¹, par classe d'indice climatique *IS*, *IH* et *IF*.

Pays	Région	Sigle	Climat Viticole
Afrique du Sud	Cape Town	ZActa	<i>IS₃ IH₄ IF₂</i>
Allemagne	Freiburg	DEfr	<i>IS₀₀ IH₂ IF₄</i>
	Geisenheim	DEge	<i>IS₀₀ IH₂ IF₄</i>
	Neustadt	DEne	<i>IS₀₀ IH₂ IF₄</i>
	Stuttgart	DEst	<i>IS₀₀ IH₁ IF₄</i>
	Trier	DEtr	<i>IS₀₀ IH₁ IF₄</i>
	Würzburg	DEwü	<i>IS₀₀ IH₁ IF₄</i>
Angleterre	Maidstone	GBma	<i>IS₀₀ IH₁ IF₄</i>
Argentine	Lujan de Cuyo	ARlu	<i>IS₁ IH₅ IF₃</i>
	General Roca	ARri	<i>IS₂ IH₅ IF₄</i>
Australie	Mildura	AUmi	<i>IS₃ IH₅ IF₃</i>
	Mount Gambier	AUmo	<i>IS₁ IH₂ IF₄</i>
	Nuriootpa	AUnu	<i>IS₂ IH₄ IF₄</i>
Brésil	Bento Gonçalves	BRbe	<i>IS₀₀ IH₄ IF₂</i>
	Petrolina	BRpe	<i>IS₁ IH₆ IF₁</i>
Canada	Quebec	CAqu	<i>IS₀₀ IH₁ IF₄</i>
	Summerland	CAsu	<i>IS₁ IH₂ IF₄</i>
	Vancouver	CAva	<i>IS₀ IH₁ IF₄</i>
Chili	Curico	CLcu	<i>IS₂ IH₃ IF₄</i>
	Santiago	CLsa	<i>IS₂ IH₄ IF₄</i>
Chine	Bei Jing	CNbe	<i>IS₀ IH₄ IF₄</i>
	Tong Chuan	CNto	<i>IS₀ IH₄ IF₃</i>
	Urumqi	CNur	<i>IS₂ IH₄ IF₄</i>
	Yi County	CNyc	<i>IS₀ IH₅ IF₃</i>
	Yi Li	CNyl	<i>IS₂ IH₄ IF₄</i>
Colombie	La Unión	COla	<i>IS₀ IH₆ IF₁</i>
Espagne	Ciudad Real	ESci	<i>IS₁ IH₅ IF₃</i>
	Cádiz	ESje	<i>IS₂ IH₅ IF₂</i>
	Rioja	ESlo	<i>IS₁ IH₄ IF₃</i>
	Madrid	ESmd	<i>IS₂ IH₄ IF₂</i>
	Málaga	ESml	<i>IS₂ IH₅ IF₁</i>
	Murcia	ESmu	<i>IS₁ IH₅ IF₂</i>
	Orense	ESor	<i>IS₀ IH₄ IF₃</i>
	Tenerife	ESsa	<i>IS₂ IH₅ IF₁</i>

suite...

Pays	Région	Sigle	Climat Viticole	
Espagne	Tarragona	ESta	<i>IS₁ IH₄ IF₂</i>	
	Valladolid	ESva	<i>IS₁ IH₃ IF₄</i>	
Etats Unis	Cleveland	UScl	<i>IS₀₀ IH₃ IF₃</i>	
	Fresno	USfr	<i>IS₃ IH₆ IF₂</i>	
	Medford	USme	<i>IS₂ IH₄ IF₄</i>	
	New York	USne	<i>IS₀ IH₄ IF₂</i>	
	Portland	USpo	<i>IS₁ IH₃ IF₄</i>	
	Rochester	USrc	<i>IS₀₀ IH₂ IF₄</i>	
	Sacramento	USsc	<i>IS₃ IH₅ IF₃</i>	
	Seattle	USse	<i>IS₀ IH₂ IF₄</i>	
	Salem	USsl	<i>IS₁ IH₂ IF₄</i>	
	France	Agen	FRag	<i>IS₀ IH₃ IF₃</i>
		Ajaccio	FRaj	<i>IS₁ IH₄ IF₂</i>
Angers		FRan	<i>IS₀ IH₂ IF₄</i>	
Bastia		FRba	<i>IS₁ IH₄ IF₂</i>	
Besançon		FRbe	<i>IS₀₀ IH₂ IF₄</i>	
Bordeaux		FRbo	<i>IS₀ IH₃ IF₃</i>	
Carcassonne		FRca	<i>IS₁ IH₃ IF₃</i>	
Cognac		FRcg	<i>IS₀ IH₃ IF₃</i>	
Colmar		FRcl	<i>IS₀ IH₂ IF₄</i>	
Macon		FRma	<i>IS₀₀ IH₃ IF₄</i>	
Montélimar		FRmm	<i>IS₁ IH₄ IF₃</i>	
Montpellier		FRmp	<i>IS₁ IH₄ IF₂</i>	
Nantes		FRna	<i>IS₀ IH₂ IF₄</i>	
Pau		FRpa	<i>IS₀₀ IH₃ IF₃</i>	
Perpignan		FRpe	<i>IS₁ IH₄ IF₂</i>	
Reims		FRre	<i>IS₀ IH₂ IF₄</i>	
Toulouse		FRte	<i>IS₀ IH₃ IF₃</i>	
Toulon		FRtn	<i>IS₂ IH₅ IF₂</i>	
Tours	FRtr	<i>IS₀ IH₂ IF₄</i>		
Guatemala	Estanzuela	GTes	<i>IS₀ IH₆ IF₁</i>	
Inde	Ludhiana	INlu	<i>IS₀ IH₆ IF₁</i>	
	Pune	INpu	<i>IS₀₀ IH₆ IF₁</i>	
Israël	Haïfa	ILha	<i>IS₂ IH₅ IF₁</i>	

<i>suite...</i>			
Pays	Région	Sigle	Climat Viticole
Italie	Lecce	ITLc	<i>IS</i> 2 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 1
	Modena	ITMo	<i>IS</i> 0 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 3
	Perugia	ITPe	<i>IS</i> 0 <i>IH</i> 3 <i>IF</i> 4
	Ravenna	ITRa	<i>IS</i> 1 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 2
	Trapani	ITTa	<i>IS</i> 2 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 1
	Treviso	ITTe	<i>IS</i> 0 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 3
Japon	Kofu	JHko	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 1
Nouvelle-Zélande	Napier	NZna	<i>IS</i> 0 <i>IH</i> 2 <i>IF</i> 3
Pérou	Ica	PEic	<i>IS</i> 2 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 2
Portugal	Anadia	PTan	<i>IS</i> 1 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 3
	Evara	PTev	<i>IS</i> 2 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 2
	Funchal	PTfu	<i>IS</i> 1 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 1
	Lisboa	PTli	<i>IS</i> 2 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 2
	Peso da Régua	PTpe	<i>IS</i> 1 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 3
	Viseu	PTvi	<i>IS</i> 1 <i>IH</i> 3 <i>IF</i> 4
Rép. de Corée	P'ohang	KRpo	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 2
	Surwon	KRsu	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 2
Slovaquie	Bratislava	SKbr	<i>IS</i> 0 <i>IH</i> 3 <i>IF</i> 4
Slovénie	Beli Kriz	SIbe	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 3 <i>IF</i> 2
	Bizeljsko	SIbi	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 2 <i>IF</i> 4
	Murska Sobota	SImu	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 2 <i>IF</i> 4
	Novo Mesto	SInm	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 2 <i>IF</i> 4
Suisse	Genève	CHge	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 2 <i>IF</i> 4
Tanzanie	Dar Es Salaam	TZda	<i>IS</i> 2 <i>IH</i> 6 <i>IF</i> 2
Thaïlande	Bangkok	THba	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 6 <i>IF</i> 1
	Chiangmai	THch	<i>IS</i> 00 <i>IH</i> 6 <i>IF</i> 1
Tunisie	Bizerte	TNbi	<i>IS</i> 3 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 1
	Nabeul	TNna	<i>IS</i> 2 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 1
	Tunis - Carthage	TNtu	<i>IS</i> 3 <i>IH</i> 6 <i>IF</i> 1
Turquie	Izmir	TRiz	<i>IS</i> 3 <i>IH</i> 5 <i>IF</i> 1
	Tekirdag	TRte	<i>IS</i> 1 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 2
Uruguay	Las Brunas	UYcn	<i>IS</i> 0 <i>IH</i> 4 <i>IF</i> 2

¹Postes météorologiques : latitude, longitude, altitude et périodes des moyennes interannuelles : voir Tonietto, 1999.

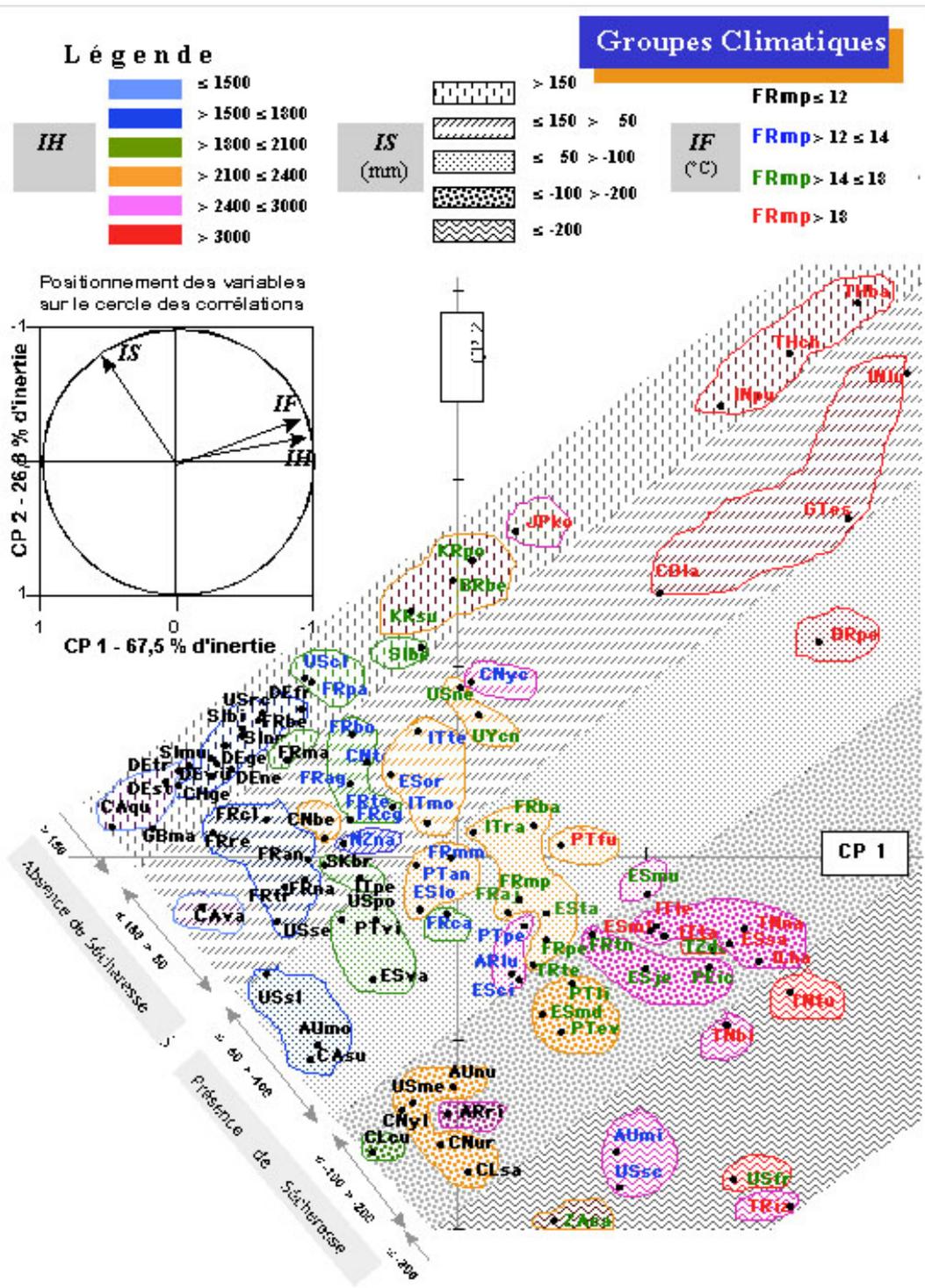


Figure 1. Analyse en Composantes Principales pour les 3 indices climatiques (*IH*, *IS*, *IF*) des régions viticoles : positionnement des régions viticoles, climats viticoles et groupes climatiques des régions.

Système CCM Géoviticole

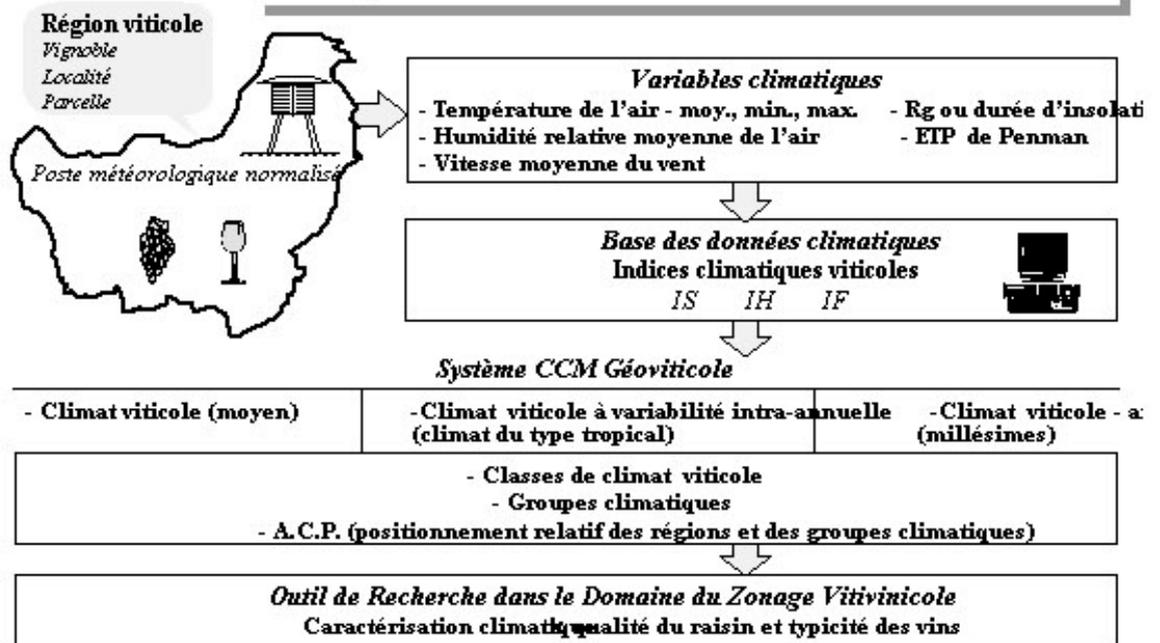


Figure 2. Schéma de fonctionnement du Système CCM Géoviticole.

4. CONCLUSIONS

La méthodologie de caractérisation développée permet les conclusions suivantes :

- a. Le Système CCM Géoviticole est plus performant pour le regroupement des régions viticoles que les indices monocritère disponibles.
- b) L'Indice de Sécheresse - *IS* et l'Indice de Fraîcheur des Nuits - *IF* permettent de mettre en évidence d'autres aspects du climat des régions viticoles dans le vignoble mondial, et sont un complément aux indices thermiques ou héliothermiques d'usage courant (l'Indice Héliothermique de Huglin - *IH* étant le plus pertinent en géoviticulture).
- c) La proposition des nouveaux concepts de *climat viticole* (sa moyenne et son amplitude) et de *groupe climatique* pour les régions viticoles permet d'être plus précis dans l'étude de la climatologie viticole.
- d) Dans le climat tropical, avec plusieurs récoltes par an, le concept proposé de *climat viticole à variabilité intra-annuelle* permet de caractériser le climat viticole pendant toute l'année par cette évaluation multicritères.
- e) Une très grande diversité climatique trouvée dans le vignoble mondial a été mise en évidence : dans le climat de type méditerranéen, par exemple, les régions viticoles se répartissent dans un très grand nombre de groupes climatiques.

f) La méthode développée permet à l'ensemble des régions de la viticulture mondiale d'adopter cette classification cohérente de leurs climats, à partir des données climatiques classiques de la région concernée - moyennes climatiques interannuelles (variables : température de l'air - maximale, minimale, moyenne ; pluviométrie ; ETP Penman).

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Organisation Météorologique Mondiale - O.M.M., et en particulier M. N.A. Gbeckor-Kove et M. V.K. Sivakumar du Département du Programme Climatique Mondial de la Division de Météorologie Agricole. Nous remercions également l'ensemble des autres institutions et des personnes qui ont travaillé à collecter les données dans les différents pays : *Afrique du Sud* - South African Weather Bureau; *Allemagne* - Deutscher Wetterdienst; *Angleterre* - The Meteorological Office; *Argentine* - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária; *Australie* - Bureau of Meteorology; *Brésil* - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; *Canada* - Canadian Meteorological Centre; *Chili* - Dirección Meteorológica de Chile; *Chine* - China Meteorological Administration et China Agricultural University; *Colombie* - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; *Espagne* - Instituto Nacional de Meteorología; *Etats Unis* - Office of Meteorology - National Weather Service et National Climatic Data Center; *France* - Météo-France; *Guatemala* - Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología; *Inde* - India Meteorological Department; *Israël* - Israël Meteorological Service; *Italie* - European Commission - Joint Research Centre - Space Applications Institute - Agriculture and Regional Information System; *Japon* - Japan Meteorological Agency; *Nouvelle-Zélande* - Horticulture and Food Research Institute of New Zealand; *Pérou* - Servicio Nacional de Meteor. e Hidrología; *Portugal* - Instituto de Meteorología; *République de Corée* - Korea Meteorological Administration; *Slovaquie* - Slovak Hydrometeorological Institute; *Slovénie* - Hydrometeorological Institute; *Suisse* - Institut Suisse de Météorologie; *Tanzanie* - Directorate of Meteorology; *Thaïlande* - Meteorological Department; *Tunisie* - Institut National de la Météorologie; *Turquie* - State Meteorological Service; *Uruguay* - Dirección Nacional de Meteorología et à l'Instituto Nacional de Vitivinicultura.

Aux collaborateurs Jean-Michel Boursiquot, Michel Calleja et Pierre Cour pour leurs contributions et pour leurs analyses critiques de l'ensemble de la recherche.

BIBLIOGRAPHIE

AMERINE, M.A., WINKLER, A.J. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*, v.15, 493-673.

BRANAS, J. 1974. *Viticulture*. Montpellier, Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 990p.

CARBONNEAU, A. 1994. Le zonage des potentialités viticoles à l'échelle de l'Union Européenne. *Progr. Agric. Vitic.*, v.111, n.22, p.505-514. (Spécial Sitevinitech).

CARBONNEAU, A., RIOU, C., GUYON, D., RIOM, J., SCHNEIDER, C. 1992. *Agrométéorologie de la vigne en France*. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes. 169p.

CARBONNEAU, A., TONIETTO, J. 1998. La géoviticulture - De la géographie viticole aux évolutions climatiques et technologiques à l'échelle mondiale. *Revue des Oenologues et des Techniques Vitivinales et Oenologiques*, n.87, 16-18.

CONSTANTINESCU, G. 1967. Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d'une région et du choix des cépages. *Bulletin de l'O.I.V.*, 441, 1179-1205.

HUGLIN, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR L'ÉCOLOGIE DE LA VIGNE, 1, 1978.

Constança, Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire. p.89-98.

RIOU, Ch., BECKER, N., SOTES RUIZ, V., GOMEZ-MIGUEL, V., CARBONNEAU, A., PANAGIOTOU, M., CALO, A., COSTACURTA, A., CASTRO, R. de, PINTO, A., LOPES, C., CARNEIRO, L., CLIMACO, P. 1994. *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne*. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes. 322p.

TONIETTO, J. 1999. *Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France: méthodologie de caractérisation*. (Thèse Doctorat). École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier - ENSA-M. 233p.

TONIETTO, J., CARBONNEAU, A. 1998a. Macroclimat viticole et groupes climatiques de la vitiviniculture mondiale. In : SIMPOSIO INTERNAZIONALE TERRITORIO E VINO, Siena, p.71, 1998. Siena, 1998. (Abstract degli interventi).

TONIETTO, J., CARBONNEAU, A. 1998b. Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de l'A.O.C. *Muscat du Ventoux* dans le Département de Vaucluse. *Progr. Agric. Vitic.*, v.115, n.12, 271-279.

TONIETTO, J., CARBONNEAU, A. 1999. Análise mundial do clima das regiões vitícolas e de sua influência sobre a tipicidade dos vinhos: a posição da viticultura brasileira comparada a 100 regiões em 30 países. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 9., 7 a 10 de dezembro de 1999, Bento Gonçalves. *Anais*. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho/Jorge Tonietto e Celito C. Guerra, ed. p.75-90.

Annexe 1

Indice de Sécheresse - IS

Les 5 classes de climat des régions viticoles

Indice de Sécheresse - IS			
Sécheresse	Classe de climat viticole	Sigle	Intervalle de classe (mm)
Absence	<i>Humide</i>	<i>IS₀₀</i>	> 150
	<i>Sub-humide</i>	<i>IS₀</i>	≤ 150 > 50
Présence	<i>À sécheresse modérée</i>	<i>IS₁</i>	≤ 50 > -100
	<i>À sécheresse forte</i>	<i>IS₂</i>	≤ -100 > -200
	<i>À sécheresse très forte</i>	<i>IS₃</i>	≤ -200

Interprétation des classes

Deux grands groupes apparaissent en premier lieu : le groupe **à absence de sécheresse** et le groupe **à présence de sécheresse**. Ces 2 groupes sont subdivisés en classes dont les caractéristiques théoriques sont données ci-dessous. Ces classes sont assez larges, ce qui signifie que dans chaque classe il existe des différences hydriques assez importantes susceptibles de justifier des sous-classes.

Climats à absence de sécheresse

IS₀₀ On considère qu'avec un IS supérieur à 150 mm, classe de climat viticole *humide*, cette classe de climat correspond à l'absence de sécheresse, avec un niveau de **disponibilité hydrique élevé**, à **tendance excessive** vis-à-vis de la qualité.

IS₀ Avec un IS compris entre 50 mm et 150 mm, classe de climat viticole *sub-humide*, la

condition est aussi typique d'absence de sécheresse. La valeur de 50 mm serait une valeur seuil révélant l'apparition d'une contrainte hydrique pour les situations à sécheresse estivale fréquente, donc, un bon indicateur du point de changement de la condition de disponibilité hydrique du sol pour caractériser les régions à présence ou à absence de sécheresse fréquente.

Climats à présence de sécheresse

IS₁ Dans le grand groupe ' à présence de sécheresse ^a, l'intervalle d'*IS* entre 50 mm et -100 mm, classe de climat viticole **à sécheresse modérée**, présente des conditions climatiques où la vigne sera potentiellement confrontée à un certain niveau de sécheresse. Cette situation où la régulation stomatique de la plante est significative est généralement favorable à la maturité. L'irrigation est observée dans certains cas.

IS₂ Entre -100 et -200 mm, classe de climat viticole **à sécheresse forte**, la sécheresse potentielle est déjà prononcée, entraînant des effets de stress fréquents ; dans la plupart des cas la pratique de l'irrigation est courante.

IS₃ Dans le niveau inférieur à -200 mm, l'*IS* caractérise des régions extrêmement déficitaires au niveau de la disponibilité hydrique du sol ; ce sont les régions de la classe de climat viticole **à sécheresse très forte**, où l'irrigation devient obligatoire et où des risques de stress graves sont fréquents.

Commentaires supplémentaires

L'*IS* calculé sur les régions sont comparables du point de vue climatique. Du point de vue viticole, l'interprétation des résultats de l'*IS* d'une région avec un *Wo* très différent, sera plus proche de la réalité si l'on prend en considération également l'information disponible concernant la réserve réelle en eau utilisable pour la vigne.

Annexe 2

Indice Héliothermique - *IH*

Les 6 classes de climat des régions viticoles

Indice Héliothermique - <i>IH</i>		
Classe de climat viticole	Sigle	Intervalle de classe
<i>Très frais</i>	<i>IH₁</i>	≤ 1500
<i>Frais</i>	<i>IH₂</i>	>1500 ≤ 1800
<i>Tempéré</i>	<i>IH₃</i>	>1800 ≤ 2100
<i>Tempéré chaud</i>	<i>IH₄</i>	> 2100 ≤ 2400
<i>Chaud</i>	<i>IH₅</i>	> 2400 ≤ 3000
<i>Très chaud</i>	<i>IH₆</i>	> 3000

Interprétation des classes

Ces classes sont assez larges, ce qui signifie que dans chaque classe il existe des sous-classes potentielles. Les caractéristiques théoriques pour chaque classe de climat *IH* sont :

IH₁ Dans la classe de climat viticole ***très frais***, est placé l'ensemble des régions qui se trouvent uniquement à la limite thermique inférieure pour la vigne ; dans ces conditions héliothermiques ce ne sont que les cépages précoces qui peuvent arriver à la maturation, surtout les cépages blancs. Dans des conditions à hiver très froid, certaines régions utilisent des hybrides, plus résistants que

Vitis vinifera.

IH₂ Dans la classe de climat viticole **frais**, le potentiel héliothermique permet de mûrir une gamme assez large de raisins, blancs ou rouges, y compris le Cabernet franc par exemple.

IH₃ Dans la classe de climat viticole **tempéré**, des cépages plus tardifs comme le Cabernet-Sauvignon, l'Ugni Blanc et la Syrah peuvent également arriver à maturité.

IH₄ Dans la classe de climat viticole **tempéré chaud** il est possible de faire mûrir le Carignan par exemple. Il n'existe donc plus de contrainte héliothermique pour la maturation de l'ensemble des cépages cultivés (sauf quelques exceptions comme des variétés apyrènes).

IH₅ La classe de climat viticole **chaud** se caractérise par un potentiel qui excède le besoin héliothermique pour la maturation des cépages, même tardifs (avec quelques risques de stress associés).

IH₆ Dans la classe de climat viticole **très chaud**, en plus de n'avoir aucune contrainte héliothermique pour la maturation des raisins, on commence à trouver les climats de la zone intertropicale, pour lesquels il est possible, dans certains cas, d'avoir plus d'une récolte par année.

Annexe 3

Indice de Fraîcheur des Nuits - IF

Les 4 classes de climat des régions viticoles

Indice de Fraîcheur des Nuits - IF (°C)		
Classe de climat viticole	Sigle	Intervalle de classe (°C)
À nuits chaudes	IF ₁	> 18
À nuits tempérées	IF ₂	> 14 ≤ 18
À nuits fraîches	IF ₃	>12 ≤ 14
À nuits très fraîches	IF ₄	≤ 12

Interprétation des classes

L'IF donne une idée du régime thermique impliqué dans la période de maturation du raisin. Ces classes sont assez larges, ce qui signifie que dans chaque classe il existe des sous-classes potentielles. Les caractéristiques théoriques génériques pour chaque classe de climat sont données ci-dessous :

IF₁ Dans la classe de climat viticole **à nuits chaudes**, la région viticole a une période de maturation du raisin avec des températures nocturnes élevées pour tous les cépages.

IF₂ Dans le climat viticole de la classe **à nuits tempérées**, il existe une condition intermédiaire entre les climats viticoles **à nuits fraîches** et **à nuits chaudes**. Les cépages plus tardifs auront une maturation dans des conditions de températures de nuits plus basses que les cépages précoces.

IF₃ Dans la classe de climat viticole **à nuits fraîches** la maturation a lieu dans des conditions qui peuvent être plus ou moins fraîches en fonction de la précocité des cépages. Mais globalement les conditions sont plus fraîches que dans la classe IF₂, de telle sorte qu'un seuil maximum de température nocturne favorable à la maturation ne soit pour aucun cépage dépassé.

IF₄ Dans la classe de climat viticole **à nuits très fraîches** les conditions nycthermiques sont basses et l'effet positif des ces températures est surtout dépendant d'un potentiel héliothermique capable

d'assurer un bon niveau de maturation du raisin d'un cépage donné.

Autres éléments d'interprétation

D'une façon générale, on pourrait dire que dans les conditions nycthermiques chaudes de maturation, la tendance est d'observer une perte des arômes. Les cépages rouges risquent aussi d'avoir une coloration relativement faible. Au contraire, les conditions nycthermiques fraîches de maturation sont essentiellement des conditions favorables à la coloration et aux arômes des raisins. Ces deux caractéristiques du raisin s'expriment surtout dans des conditions héliothermiques suffisantes pour arriver à la maturation.

Dans les conditions nycthermiques de la classe *à nuits très fraîches*, on pourrait trouver des raisins à potentiel de couleur et d'arômes élevé si les conditions de pleine maturation sont assurées (la plus grande partie des régions productrices des vins blancs réputés sont dans cette classe de climat viticole). Au contraire, le potentiel pourrait être très faible si les conditions pour une bonne maturation, surtout le potentiel héliothermique, ne sont pas assurées.