RESOLUTION OIV-VITI 423-2012

LIGNES DIRECTRICES OIV DES MÉTHODOLOGIES DU ZONAGE VITIVINICOLE AU NIVEAU DU SOL ET AU NIVEAU DU CLIMAT

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE,

SUR PROPOSITION de la Commission I « Viticulture »,

VU les travaux présentés au sein du Groupe d'Experts « Environnement viticole et changement climatique» depuis 2007,

CONSIDÉRANT les Résolutions de l'OIV VITI/04/1998 et VITI/04/2006 qui recommandent aux pays membres de poursuivre des études des zonages vitivinicoles

CONSIDÉRANT la résolution OIV-VITI 333-2010 sur la définition du « terroir » vitivinicole,

CONSIDÉRANT les retombées économiques, législatives et culturelles qui sont souvent liées au zonage vitivinicole,

CONSIDÉRANT qu'il y a un intérêt de plus en plus marqué d'engager des opérations de zonage dans la plupart des pays viticoles,

CONSIDÉRANT qu'il existe à nos jours une multitude des disciplines et des outils utilisables pour réaliser des études de zonage, mais qui ne sont pas classifiés selon leur objectif (ou finalité ou utilisation),

CONSIDÉRANT la nécessité d'établir une méthodologie qui permettrait aux pays membres de choisir la méthode du zonage vitivinicole, la plus adaptée à ses besoins et ses objectifs,

CONSIDÉRANT que le « terroir » représente une dimension spatiale, ce qui implique un besoin de délimitation et de zonage et qu'on peut zoner différents aspects du « terroir », en particulier les éléments du milieu physique : climat et sol

CONSIDÉRANT l'importance, proposé par le groupe d'experts CLIMA et la Commission Viticulture de disposer d'une seule résolution sur le zonage vitivinicole, divisée en quatre parties (A, B, C, D),

DÉCIDE d'adopter la résolution suivante, concernant « **Les lignes directrices OIV des méthodologies du zonage vitivinicole au niveau du sol et au niveau du climat**» :

Avant-propos

Les caractéristiques d'un produit vitivinicole résultent en grande partie de l'influence du sol et du climat sur le comportement de la vigne. Le zonage vitivinicole au niveau

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

du sol et du climat doit, pour plus de pertinence, être réalisé en cohérence. En effet, il existe des interactions entre le climat et le sol dont le résultat peut-être déterminant sur les caractéristiques du produit. L'alimentation hydrique des vignobles en est par exemple, une illustration.

Dans la présente proposition, les étapes du zonage propre au sol ou au climat sont présentées séparément. Cela permet aux utilisateurs d'échelonner les deux types de zonage dans le temps, même si, pour une bonne analyse du terroir, les deux et la prise en compte de leur interaction, sont indispensables.

PARTIE A

OBJECTIFS DU ZONAGE VITIVINICOLE AU NIVEAU DU SOL ET AU NIVEAU DU CLIMAT

Le zonage viti-vinicole au niveau du sol et au niveau du climat peut avoir différentes finalités. L'analyse préalable de ces finalités représente une étape indispensable à tout travail de zonage. La méthodologie appliquée doit en effet être en adéquation avec les objectifs poursuivis (tableau 1).

Tableau 1: Objectifs du zonage viti-vinicole et rôles respectifs du sol, du climat ainsi que de leur interaction (++ : fort; + : intermédiaire ; 0 : nul), pour un cépage donné.

Objectif du zonage	Rôle du sol	Rôle du climat	Rôle de l'interaction sol/climat
Délimitation de territoires en fonction de leur potentiel à produire des vins d'une certaine typicité	++	++	++
Zonage de la précocité relative potentielle (cinétique de développement de la vigne et de maturation du raisin)	+	++	0 (effet cumulatif)
Optimisation de la gestion technique par adaptation du matériel végétal	++	++	0

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

Optimisation de la gestion technique et environnementale par adaptation des pratiques culturales	++	+	+
Gestion territorialisée des risques phytosanitaires	+	++	+
Réalisation de sélections parcellaires	++	+	0
Gestion territorialisée des ressources potentielles en eau	++	++	++
Zonage des risques et des fortes contraintes climatiques	0	++	0
Zonage de la protection des terroirs et des paysages contre diverses agressions et notamment l'urbanisation	++	0	0
Zonage selon l'aptitude d'une région particulière pour la viticulture ou pour cultiver des variétés particulières	+	++	+

PARTIE B

LIGNES DIRECTRICES OIV DES MÉTHODOLOGIES DU ZONAGE VITIVINICOLE AU NIVEAU DU SOL

Une méthodologie en 3 étapes

Etape 1 : Choisir une ou plusieurs approches

Le zonage vitivinicole au niveau du sol peut être basé sur une ou plusieurs disciplines scientifiques : géologie, géomorphologie ou pédologie.

- La géologie permet une approche synthétique qui est adaptée à des zonages à petite échelle (≤ 1/ 50 000e). Une connaissance de la géologie locale est un préalable indispensable à la cartographie des sols. La géologie ne permet pas ou peu d'expliquer le fonctionnement de la vigne

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

- La géomorphologie permet une approche synthétique qui est adaptée à des zonages à petite échelle (≤ 1/50 000e). La géomorphologie facilite la compréhension de la distribution de la profondeur du sol dans une région donnée. La géomorphologie ne permet pas ou peu d'expliquer le fonctionnement de la vigne
- La pédologie (cartographie des types de sols) est une approche adaptée à des zonages à moyenne ou grande échelle (≥1/25 000e). La réalisation de cartes pédologiques requiert classiquement des sondages à la tarière et l'étude de fosses pédologiques. La pédologie permet de faire un lien avec le fonctionnement de la vigne. Il est recommandé d'effectuer la cartographie des sols à partir de la « Soil Taxonomy » (classification américaine ; USDA, 2010), la « World Reference Base for Soil Ressources » (classification FAO, 2006) ou le Référentiel Pédologique (classification française ; Baize et Girard, 2009). Si une classification locale est utilisée, une correspondance dans l'une des trois classifications précitées doit être indiquée. L'intérêt et les limites d'utilisation de chacune des trois classifications sont discutés en ANNEXE 1.

Certaines disciplines peuvent fournir un complément d'information utile au zonage mais ne permettent pas à elles seules d'effectuer le zonage de sols viticoles. On peut citer la botanique (plantes indicatrices du milieu).

Le zonage peut faire appel à plusieurs approches simultanément. La combinaison d'une approche géologique, géomorphologique et pédologique permet de produire un zonage de grande pertinence.

Etape 2 : choisir l'échelle adaptée

Le zonage est réalisé à une certaine échelle, qui doit au préalable être définie. Le choix de l'échelle dépendra des objectifs du zonage (partie A) et de l'approche choisie (partie B, étape 1). Plus l'échelle est grande, plus le zonage est précis et plus son coût est élevé. Pour réaliser des cartes pédologiques, à une échelle donnée correspond une certaine densité d'observations qui doit être respectée pour avoir une résolution qui correspond à l'échelle proposée (Tableau 2).

Tableau 2*: nombre de sondages et de profils nécessaires pour la réalisation d'une carte des sols en fonction de l'échelle [Nombre total d'observations par ha (a+b), c'est la somme de sondages (a) et de profils(b)].*

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

Echelle	Nb d'ha par sondage (1/a)	Nb de sondages par ha (a)	Nb d'ha par profil (1/b)	Nb de profils par ha (b)	Nb total d'observations par ha (a +b)
1/2.500	0,13 - 0,06	7,75 – 15,5	4-2	0,250 – 0,5	8 - 16
1/10.000	2,10 – 1,05	0,475 – 0,95	40-20	0,025 – 0,05	0,5 – 1
1/25.000	13,70 – 6,9	0,073 – 0,145	143-67	0,007 – 0,015	0,08 – 0,16
1/100.000	250-125	0,004 – 0,008	1000-500	0,001 – 0,002	0,005 – 0,01
1/250.000	1428-833	0,0007 – 0,0012	5000-2500	0,0002-0,0004	0,0009 – 0,0016

Ce tableau avec nombre de sondages et profils est basé sur les règles suivantes :

- 0,5 (valeurs inférieures) à 1 (valeurs supérieures) observations par cm^2 de carte, et
- un ratio sondages/profils décroissant, comme suit :
  - Pour l'échelle 1/2.500 = 30 sondages/profil
  - Pour l'échelle 1/10.000 = 20 sondages/profil
  - Pour l'échelle 1/25.000 = 10 sondages/profil
  - Pour l'échelle 1/100.000 = 4 sondages/profil
  - Pour l'échelle 1/250.000 = 3-3,5 sondages/profil

Si la distribution est localement complexe, il peut être nécessaire d'augmenter la densité de sondages et/ou de profils, particulièrement pour les échelles 1/25.000e et 1/100.000e. Pour l'échelle 1/250.000e il est recommandé de cartographier un ou plusieurs secteurs de référence « secteurs modèles » à une échelle plus grande pour mettre en évidence la distribution des sols en fonction de la géologie et de la géomorphologie. Pour les échelles plus petites que 1/250.000e, il n'est pas nécessaire de faire de sondages.

Le coût de l'étude est dégressif en fonction de l'échelle, au pro rata des sondages et des profils

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

Etape 3: Choisir l'utilisation possible d'une ou plusieurs nouvelles technologies pour le zonage au niveau du sol

Plusieurs nouvelles technologies peuvent être utilisées pour le zonage au niveau du sol, soit pour en augmenter la précision, soit pour faciliter l'utilisation du zonage, soit pour réduire le coût du zonage. Ces nouvelles technologies peuvent alléger mais ne pas complètement remplacer les observations de sol sur le terrain.

- Les Systèmes d'Information Géographique (S.I.G.) permettent un rendu informatisé des résultats du zonage, ils permettent le croisement de plusieurs couches d'information et ils permettent d'insérer de l'information non spatialisée.
- Les Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.) permettent de réaliser des études géomorphologiques précises à un coût modéré.
- La géophysique (mesure de la résistivité électrique du sol) permet d'augmenter la précision des cartes de sol tout en limitant le nombre de sondages nécessaires à leur réalisation. Cette technologie est surtout adaptée à la réalisation de travaux de zonage à grande échelle (≥1/5000e)
- La télédétection permet d'interpréter l'état de surface du sol sur des parcelles non plantées sans végétation.
- La géostatistique permet de transformer des informations ponctuelles en informations spatialisées.

PARTIE C

LIGNES DIRECTRICES OIV DES MÉTHODOLOGIES DU ZONAGE VITIVINICOLE AU NIVEAU DU CLIMAT

Une méthodologie en 3 étapes

Etape 1 : Choisir les indicateurs climatiques

Le zonage climatique vitivinicole s'appuie sur différents indices issus de l'analyse de données climatiques. Le choix des données utilisées, de leur origine et des indices calculés est réalisé en adéquation avec les objectifs mentionnés dans la partie A (cf. tableau 3), ainsi qu'avec leur disponibilité.

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

Tableau 3: Données climatiques et indices bioclimatiques à utiliser en fonction des objectifs poursuivis par le zonage vitivinicole en fonction du climat :

Objectif du zonage ou critère d'analyse	**Données climatiques et indices bioclimatiques adaptés à l'objectif du zonage**	**Pas de temps requis**
Précocité relative	GDD, AvGST	Mois, jour, heure
Potentiel des territoires à produire des vins d'une certaine typicité	BH, RR (floraison-récolte), ET, AMP., Min, GDD, AvGST	Mois, jour, heure
Gestion de l'eau	BH, RR (période végétative), ET	Mois, jour, heure
Risques phytosanitaires	TM, RH, DH, Modèles de prévision de risques phytosanitaires	Jour, heure
Aléas Gélifs	TN, TS, GDD	Jour, heure
Risques de grêle	Grêlimètres, Radar météorologique	Jour, heure
Risques liés aux chaleurs extrêmes	TX	Jour, heure
Problèmes liés au vent	V	Jour, heure

ACRONYMES UTILISES : AvGST : Température moyenne durant la saison végétative ; BH : Bilan hydrique ; DH : Durée d'humectation ; ET : Evapotranspiration de référence (potentielle) ; GDD : Degrés jours et ses dérivés (Indice de Winkler, indice de Huglin, ...) ; Amp : Indices basés sur l'amplitude thermique en période de maturation. Min : Indices basés sur les minima thermiques en période de maturation ; RH : Humidité relative ; RR : cumul de précipitations ; TM : Température moyenne de l'air ; TN : Température minimale ; TS : température de surface ; TX : température maximale, V : Vitesse du vent

Il est profitable, à des fins comparatives avec d'autres travaux de zonages réalisées sur

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

d'autres sites ou à d'autres périodes, de s'appuyer tant que faire se peut sur des indicateurs pertinents et fréquemment rencontrés, (cf. ANNEXE 2) :

Etape 2 : Choisir des données climatiques sources de qualité, adaptées au zonage climatique

Trois sources de données climatiques sont disponibles : les données enregistrées par les stations climatiques, les données issues de la télédétection (satellite et RADAR) et les données issues des modèles dynamiques (modèles de circulation générale ou GCM, ou modèles dynamiques régionaux).

Les données enregistrées par les stations climatiques permettent d'avoir accès à la plupart des indicateurs pertinents pour la mise en œuvre d'un zonage climatique. Il convient au préalable :

- D'évaluer la qualité des sites d'enregistrement, afin de garantir une homogénéité concernant la nature du signal climatique enregistré (éviter l'influence du microclimat lié au point de mesure)
- D'identifier et d'éliminer les données aberrantes ou erronées.

Ces données climatiques ou les indices pertinents qui en sont dérivés sont ponctuelles. La spatialisation de ces données est indispensable au zonage. Elle consiste à estimer, pour tout point de l'espace étudié, la valeur d'une variable ou d'un indice bioclimatique à partir des points de mesure. Pour cela, deux alternatives sont possibles : la délimitation subjective, basée sur l'expertise du cartographe et l'interpolation spatiale des données climatiques.

Il est indispensable d'estimer l'incertitude liée à l'interpolation, à l'aide d'un jeu de données de validation indépendant de celui utilisé pour l'interpolation des données ou en pratiquant une validation croisée de type « leave-one-out ».

Les données issues de la télédétection permettent une couverture climatique sur de larges étendues spatiales, de manière continue dans le temps. Elles requièrent souvent des traitements préalables pour être utilisées dans le cadre d'un zonage viticole (élimination d'artefacts tels que les nuages, calculs d'indices à partir de données mesurées au sol, ...). Il convient également de s'assurer de la qualité des données, notamment de l'homogénéité spatiale et temporelle du signal analysé (par exemple dans le cas d'un zonage établi à partir d'images satellite différentes).

Les modèles dynamiques (ou modèles de circulation régionale / globale) produisent une très grande quantité de données climatiques, avec une large couverture spatiale

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

(ensemble du globe). Toutefois, la résolution spatiale des données est relativement basse (de 50 à plusieurs centaines de kilomètres) et l'évaluation de la qualité des données issues de ces modèles pose des problèmes méthodologiques (comparaison pixel volumétrique/station climatique).

Etape 3 : Identifier des zones climatiquement homogènes

A la différence du zonage vitivinicole au niveau sol, qui fait appel dans la plupart des cas à des données qualitatives (type de sol), le zonage climatique s'appuie sur des données quantitatives continues. Il est donc nécessaire de délimiter des zones jugées homogènes, sur la base de certains paramètres climatiques. Les zones climatiquement homogènes doivent impérativement présenter une variabilité spatiale égale ou supérieure à l'erreur de cartographie. Il est également préférable que les limites soient définies sur des critères pertinents pour la viticulture et potentiellement vérifiables dans le cadre d'une étape de validation. En d'autres termes, il faut éviter d'établir des classes dont les gammes de variation climatique n'ont aucun sens pour la viticulture.

Par ailleurs, le climat étant sujet à une variabilité temporelle considérable, le zonage climatique vitivinicole doit s'appuyer sur des statistiques calculées sur un nombre d'années jugées suffisamment élevé pour conférer au zonage une robustesse suffisante. Le nombre d'années nécessaire dépend de l'objectif du zonage, de la variable étudiée et des facteurs responsables de ses variations dans l'espace (cf. ANNEXE 3).

Enfin une approche qualitative du zonage climatique vitivinicole peut-être envisagée, sur la base de l'analyse du paysage (indice de fermeture du paysage, bilan radiatif). Cette approche peut être développée à l'aide d'analyse numérique du relief (modèles numériques de terrain) et de Systèmes d'Information Géographiques. Elle est plus subjective, mais offre la possibilité de s'affranchir de données climatiques, et par conséquent est facile à mettre en œuvre. Elle est en revanche intrinsèquement limitée par l'absence de mesures quantitatives des variables étudiées.

PARTIE D

METHODES POUR LA VALIDATION DE ZONAGES VITIVINICOLES AU NIVEAU DU SOL ET DU CLIMAT

En fonction des objectifs poursuivis, la pertinence des zonages vitivinicoles au niveau du sol et au niveau du climat peuvent être validées par différentes méthodes :

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

- Par des études éco-physiologiques. Ces méthodes s'intéressent à la réponse de la vigne aux facteurs de l'environnement. Elles permettent d'expliquer le fonctionnement de la vigne en relation avec le sol, au niveau du régime hydrique du territoire en question et de celui de la vigne, de son alimentation minérale (et notamment azotée), de sa phénologie, de son expression végétative et de la maturation des raisins. Elles peuvent être soit ponctuelles (réseau de parcelles de référence) ou spatialisées (cartes de vigueur, de précocité, de régime hydrique, de nutrition azotée, de composantes du raisin à maturité…)
- Par des enquêtes parcellaires pour étudier la correspondance entre le savoir empirique des producteurs et les potentialités viticoles
- Par évaluation sensorielle de la qualité et de la typicité du raisin et du vin obtenu, soit par vinification à grande échelle ou par micro-vinification
- Pour les zonages relatifs aux risques climatiques ou phytosanitaires, par des comptages de dégâts et confrontations aux niveaux de risque établi par la cartographie.

Cette étape de validation peut être assistée par de nouvelles technologies. Des cartes de vigueur et de cinétique de développement peuvent être obtenues par télédétection aérienne, satellite ou proxi-détection à l'aide de capteurs embarqués sur machines agricoles et géo-localisés par G.P.S. Les géo-statistiques permettent de transformer de l'information de validation ponctuelle en information de validation spatialisée, à condition que la densité de l'information ponctuelle soit suffisamment élevée. Les S.I.G. permettent de croiser les couches issues du zonage avec les couches d'information obtenues lors de l'étape de validation.

La restitution des résultats des zonages au niveau du sol et/ou au niveau du climat devra répondre aux objectifs poursuivis, c'est-à-dire être réalisée à une échelle adaptée et à un format utilisable par les destinataires finaux. Les formats de restitution peuvent ainsi varier de rapports globaux pour des décideurs administratifs à des logiciels de gestion parcellaire pour les études à grande échelle directement utilisable par les viticulteurs.

CONCLUSIONS

Plusieurs approches existent pour le zonage vitivinicole, faisant appel à des disciplines scientifiques variées, à des échelles diverses avec l'appui de plus ou moins de nouvelles technologies. L'approche et l'échelle retenues pour le zonage dépendent des

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

objectifs qui doivent être déterminés au préalable.

Une échelle de 1/5 000^{e} est adaptée pour le zonage au niveau du sol d'une exploitation d'une dizaine à une centaine d'hectares, alors qu'une échelle de 1/10 000^{e} à 1/25 000^{e} est adaptée pour le zonage d'une appellation. En-dessous de l'échelle 1/25 000^{e} , le zonage pédologique perd son intérêt car il devient inévitable de regrouper plusieurs types de sol par unité de légende.

Les zonages viticoles au niveau du sol les plus pertinents sont obtenus par une approche pluri-disciplinaire : géologie, géomorphologie et pédologie.

La qualité des données sources est un point essentiel du zonage climatique. Les incertitudes de mesures, surtout à grande échelle, sont parfois supérieures à la variabilité spatiale du phénomène étudié. Par ailleurs, la procédure de cartographie (spatialisation des données), peut conduire à des erreurs d'estimation importantes, qui s'ajoutent aux incertitudes liées au matériel de mesure ou aux conditions microclimatiques du site de mesure. Il est donc indispensable d'associer à chaque procédure de zonage climatique une évaluation de l'incertitude globale générée par cette démarche.

La validation du zonage peut s'effectuer au moyen d'observations phénologiques, de mesures écophysiologiques, d'analyse sur les vins, d'informations économiques ou encore en s'appuyant sur les nouvelles technologies, telles que la télédétection. Des enquêtes auprès des viticulteurs peuvent éventuellement assister les résultats de la validation.

Un zonage vitivinicole reste un outil dont on mesure en partie l'intérêt et la pertinence par sa facilité d'utilisation et sa capacité à répondre aux attentes des destinataires.

ANNEXE 1 : Intérêt des différentes classifications pédologiques recommandées pour un zonage vitivinicole au niveau du sol

Il existe de nombreuses classifications pédologiques. Pour une question d'harmonisation, l'OIV recommande à ses membres d'utiliser l'une des trois classifications suivantes pour les travaux de zonage vitivinicole : la « Soil Taxonomy » (classification américaine ; USDA, 2010), la « World Reference Base for Soil Ressources » (classification FAO, 2006) ou le Référentiel Pédologique (classification française ; Baize et Girard, 2009). Chacune des ces classification présente des intérêts et des limites d'utilisation.

La « Soil Taxonomy » (classification américaine ; USDA, 1993, 1999, 2010) est la classification qui permet la définition la plus précise des types de sol rencontrés. Elle

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

est utilisée dans de nombreux pays. Cependant, sa complexité en fait un outil pour pédologues spécialisés et ne permet pas d'être utilisé par tous les acteurs susceptibles de faire des travaux de zonage vitivinicole.

La « World Reference Base for Soil Ressources » (classification FAO, 2006), également appelée la classification de la FAO, est une classification internationalement reconnue, d'une utilisation simple. Cependant, le nombre de références proposées est limitée (32 seulement). Par ailleurs, cette classification ne reconnaît pas le rôle prépondérant du type de roche dans la pédogénèse. Par conséquent, il n'existe pas de regroupement de sols carbonatés, ce qui est une limite pour le zonage en zone viticole.

Le Référentiel Pédologique (classification française ; Baize et Girard, 2009) est une classification relativement complète et simple d'utilisation. Elle est basée à la fois sur des critères morphologiques (horizon diagnostic) et sur des facteurs pédogénétiques (type de roche-mère en particulier). Même si cette classification est utilisée dans plusieurs pays, son origine nationale (française) constitue une limite.

ANNEXE 2 : Indices bioclimatiques couramment utilisés pour la pratique du zonage vitivinicole

Il existe un nombre très large d'indices pouvant être employés en vue d'un zonage climatique viti-vinicole, dont le calcul s'appuie sur des concepts écophysiologiques et des modèles qui en découlent plus ou moins élaborés. Parmi les plus complexes, les modèles de culture mécanistes permettent d'évaluer de manière plus réaliste l'influence du climat sur le développement de la vigne et la maturation du raisin (Bindi et Maselli, 2001 ; Garcia de Cortazar Atauri, 2006). Leur principal inconvénient est le degré de technicité élevé qu'ils requièrent, impliquant une connaissance experte de l'utilisateur. À l'opposé, les indicateurs très simples, tels que la température moyenne en saison de végétation (Jones et al., 2004), sont moins pertinents d'un point de vue biologique mais sont accessibles à un large public. Force est de constater que dans la littérature scientifique et technique, les indices les plus couramment utilisés dans le cadre de caractérisations ou de zonages climatiques des milieux viti-vinicoles font appel à des modèles relativement simples, sur des bases semi-empiriques ou mécanistes (Amerine et Winkler, 1944 ; Dumas et al., 1997 ; Jacquet et Morlat, 1997 ; Tonietto et Carbonneau, 1998 ; Bois et al., 2008). Les concepts les plus souvent invoqués sont : les températures extrêmes (températures de gel des parties végétatives, ligneuses et bourgeons, fortes chaleurs), les cumuls de températures, le bilan hydrique et les températures minimales et/ou amplitudes thermiques en période de maturation du raisin. Selon les objectifs du zonage, il peut-être pertinent

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

de privilégier une approche multicritères en combinant des indices apportant des informations complémentaires (comme, par exemple, la Classification Climatique Multicritères, proposée par Tonietto, 1999 et Tonietto et Carbonneau, 2004).

Indicateurs de risques basés sur les températures extrêmes :

Température minimale de gel en période de repos végétatif de la vigne.

Il s'agit de la température minimale en deçà de laquelle on peut observer des dégâts irréversibles sur la viabilité des bourgeons ou du cep entier. Dépendante du matériel végétal et de l'endurcissement de la vigne, le seuil de résistance de la vigne aux basses températures oscille entre -15°C et -25°C (Düring, 1997 ; Lisek, 2009).

Température minimale de gel en période végétative.

La destruction des organes végétatifs par le gel dépend du stade de développement de la vigne et du matériel végétal (Fuller et Telli, 1999). Les dégâts apparaissent généralement sous -3°C. Sous climats tempérés, ces situations ont parfois lieu dans des conditions de type « gel radiatif », associées à une inversion du gradient altitudinal classique : les températures sous abri (1,5 ou 2 m) différent parfois très nettement des conditions observées au niveau des organes végétatifs (Guyot, 1997). Pour ces raisons, on considère 0°C à -2°C sous abri comme température de gel en période végétative.

Température maximale en période végétative et durant la maturation du raisin.

Les conséquences de fortes chaleurs sur la vigne sont diverses en fonction de leur durée, des ressources en eau, du stade végétatif et du génotype du greffon (Matsui et al., 1986 ; Sepulveda et al., 1986a, 1986b). En outre, elles n'ont pas forcément des conséquences négatives sur la physiologie de la vigne et la maturation du raisin (Huglin et Schneider, 1998). On peut néanmoins considérer qu'au-delà de 35°C, la capacité photosynthétique de la vigne décroît, la teneur en anthocyanes du raisin est affectée (Spayd et al., 2002 ; Kliewer, 1977).

Indices basés sur la température de l'air en saison végétative, indicateurs de la cinétique du développement de la vigne et de la maturation du raisin.

Température moyenne de saison de végétation

Il s'agit du calcul de la température moyenne de l'air entre des mois d'Avril à Octobre inclus (hémisphère nord) ou d'Octobre à Avril inclus (hémisphère sud). Proposé par Jones et al (2005)

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

Degrés jours de Winkler (Amerine et Winkler, 1944)

Il s'agit d'une somme des températures de l'air supérieures à 10°C, du 1er avril au 31 octobre (hémisphère nord) ou du 1er octobre au 30 avril (hémisphère sud).

$$WI = \sum GDD \quad (1)$$

$$GDD = max\left[\left(\frac{T_{min}+T_{\max}}{2}\right) - 10\right];0 \quad (2)$$

Avec *WI* : Indice de Winkler [°C.jour]; GDD : Degrés jours cumulés quotidiennement (*Growing Degree Days,* [°C.jour]) ; $T_{\min}$: température minimale [°C] ; $T_{\max}$: température maximale [°C].

WI peut également être calculé à partir de données mensuelles. Dans ce cas, pour chaque mois, les GDD calculés équation (2)) doivent être multipliés par le nombre de jours du mois.

Degrés jours biologiquement actifs (Biologically Effective Degree Days).

Ce concept basé également sur les sommes thermiques en base 10°C a été proposé par Gladstones (1992). Il estime que lorsque la température moyenne de la journée excède 19°C, la cinétique de développement de la vigne atteint un plateau. Ainsi, la valeur maximale de [°C.jours] est limitée à 9°C (au dessus de 10°C).

$$BEDD_{index} = \sum BEDD$$

$$BEDD = min\left\{max\left[\left(\frac{(T_{min}+T_{\max})}{2} - 10\right);0\right];9\right\} \quad (3)$$

Avec $BEDD_{indes}$: Indice des Degrés jours biologiquement actifs [°C.J], *BEDD* : Degrés jours biologiquement actifs ; $T_{\min}$ et $T_{\max}$ ont les mêmes significations et unités que dans l'équation (2).

Indice Héliothermique de Huglin (Huglin, 1978) :

Il s'agit d'un cumul de température particulier, réalisée, prenant en compte l'influence des températures durant l'après-midi (températures proches des maximales), lorsque l'activité photosynthétique de la vigne est maximale. Il introduit également un

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

coefficient de longueur de jours, dépendant de la latitude, pour intégrer la durée d'activité photosynthétique potentiellement plus élevée durant la saison végétative de la vigne vers les hautes latitudes.

$$HI = k \times \sum HDD \quad (4)$$

$$\text{REV1 } HDD = max\left[\left(\frac{\left[\frac{(T_{min}+T_{max})}{2}-10\right]+(T_{max}-10)}{2}\right);0\right] \quad (5)$$

Avec *HI* : Indice Héliothermique de Huglin [°C.jours], correspondant à la somme des *HDD* du 1er avril au 30 septembre dans l'hémisphère nord et du 1er septembre au 30 avril dans l'hémisphère sud ; *HDD* :degrés jours de Huglin [°C.jours] ; T_{min} et T_{max} ont les mêmes significations et unités que dans l'équation (2) ; *k* :coefficient de longueur des jours [sans unité], la valeur de ce coefficient dépend de la latitude (Tableau 1).

Tableau 1 : valeur du coefficient de longueur des jours *k* pour quelques gammes de latitude

Latitude	**40 à 42°**	**42,1 à 44°**	**44,1 à 46°**	**46,1 à 48°**	**48,1 à 50°**
Valeur de *k*	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06

Nota Bene : la valeur du k *n'est pas proposée au deçà et au delà des latitudes 40 et 50°. Des travaux en cours devraient permettre d'aboutir à de nouvelles propositions de valeurs de coefficients* k *pour les latitudes plus basses et plus hautes que celle initialement concernées pour le calcul de* HI.

Indices basés sur la température nocturne et/ou sur l'amplitude thermique, indicateurs des conditions de maturation du raisin

Indice de Fraîcheur des Nuits (IFN) :

L'indice de fraîcheur des nuits a été proposé par Tonietto (1999) et Tonietto et Carbonneau (2004). Il correspond à la moyenne des minima thermique (°C) du mois de septembre dans l'hémisphère nord et du mois de mars dans l'hémisphère sud.

Les minima thermiques durant la période de maturation du raisin de chaque cépage/région peuvent être également considérés pour tenir compte des conditions locales.

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

Indice de Fregoni (simplifié)

Sur le même principe, Fregoni (Fregoni et Pezzutto, 2000) a proposé un indice intégrant à la fois l'amplitude thermique diurne et la longueur de la période durant laquelle la température reste inférieure à 10°C, et ce pour une période de 30 jours qui précèdent la maturité du raisin. Proposé sur une base de températures horaires, la version simplifiée est applicable à des données climatiques quotidiennes :

$$IFs = \sum(T_{max} - T_{min}) \times \sum N_{dT<10} \quad (4)$$

Avec *IFs* : Indice de Fregoni simplifié [°C.jours] ; T_{min} et T_{max} ont les mêmes significations et unités que dans l'équation (2) ; $N_{d<10}$: nombre de jours dont la température moyenne est inférieure à 10°C.

Bilan hydrique climatique viticole, indicateur de l'offre en eau au niveau du climat :

Indice de Sécheresse :

Il s'agit d'une adaptation par Tonietto (1999) du Bilan hydrique de Riou (1994). Le bilan hydrique est calculé au pas de temps mensuel, sur une période de 6 mois, entre le 1er avril et 30 septembre (hémisphère nord) ou entre le 1er Octobre et le 31 mars (hémisphère sud). Sa valeur en fin de « cycle » (30 septembre pour l'hémisphère nord et 31 mars pour l'hémisphère sud) correspond à l'indice de sécheresse :

$$IS = W_{m=6} \quad (5)$$

Avec *IS :* indice de sécheresse [mm] ; $W_{m=6}$ *:* valeur du bilan hydrique [en mm] en fin de sixième mois *m.*

Le bilan hydrique en pour chacun des six mois est calculé comme suit :

$$W_m = \min(W_{m-1} + P - T_v - E_s; W_0 \quad (5)$$

Avec W_m : bilan hydrique à la fin du mois *m* ; W_{m-1} : bilan hydrique en fin de mois précédent ; *P* : cumul mensuel de précipitations du mois *m* ; T_v : transpiration de la vigne du mois *m* ; E_s : évaporation au niveau du sol durant le mois *m* ; *W*: réserve utile

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

du sol fixée à 200 mm. Toutes ces grandeurs sont exprimées en mm.

Lorsque m=1, c'est-à-dire au premier mois de calcul du bilan hydrique, on considère que la quantité d'eau disponible dans le sol au mois précédent (W_{m-1} ou W) est égale à la réserve utile W soit 200 mm.

Nota Bene : W_m peut avoir une valeur négative. Cette approche conceptuelle est proposée afin de mieux caractériser l'importance d'un éventuel déficit en ressources hydriques pour la vigne.

La transpiration de la vigne est évaluée chaque mois en fonction du stade de développement de la vigne et de la demande évaporative de l'atmosphère :

$$T_v = k\, ET_0 \quad (6)$$

Avec ET : évapotranspiration de référence cumulée sur le mois m (ou évapotranspiration potentielle, [mm]) ; k : coefficient d'interception du rayonnement solaire par le couvert végétal de la vigne, évoluant mensuellement en fonction du stade de développement végétatif de la vigne (Tableau 2).

Tableau 2 : valeur du coefficient k pour les 6 mois de calcul de l'indice de sécheresse

Mois hémisphère nord	**avril**	**mai**	**juin à septembre**
Mois hémisphère sud	**octobre**	**novembre**	**décembre à mars**
Valeur de k	0,1	0,3	0,5

L'évaporation du sol correspond à la fraction d'ET non consommée par la vigne, soit (1-k) x ET), pour une période durant laquelle la partie superficielle du sol est encore humide. La durée de cette période est évaluée en fonction des précipitations du mois P. Elle correspond, en nombre de jours, au cinquième du cumul de la pluie du mois m :

$$E_s = \frac{ET_0}{N_{d,m}}(1-k)\max\left(\frac{P}{5};N_{d,m}\right) \quad (7)$$

Avec $N_{d,m}$: nombre de jours du mois m.

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

ANNEXE 3 : Note sur l'échantillonnage temporel nécessaire pour l'utilisation d'indices bioclimatiques dans l'objectif d'un zonage vitivinicole au niveau du climat

Le climat se distingue du sol notamment en raison de sa variabilité temporelle. Aussi sa caractérisation, en vue d'un zonage vitivinicole et au regard des indices bioclimatiques utilisés, requiert une étude sur plusieurs années. La taille de cet échantillon temporel, nommé *durée de l'étude* ci-après, dépend fortement de l'objectif définit. On peut distinguer, de manière non-exhaustive, 2 cas :

- L'objectif du zonage se limite à la seule indentification de zones jugées climatiquement homogène (au regard d'un ou plusieurs indices agroclimatiques) au sein de la région d'étude.
- Les objectifs du zonage sont (1) de distinguer des zones jugées climatiquement homogènes au sein de la région d'étude, (2) de comparer les caractéristiques climatiques des zones identifiées dans la région d'étude avec d'autres régions vitivinicoles (comparaison intra- et extra-régionale).

Dans le premier cas, la durée d'étude peut être variable, en fonction de l'échelle spatiale et des facteurs atmosphériques et environnementaux qui gouvernent la variabilité spatiale du climat. Ainsi, pour des zonages de grande échelle (région d'étude d'une dimension inférieure à 100 km environ), certaines variables comme la température de l'air peuvent être affectées, dans certaines régions, essentiellement par des éléments géographiques de caractère pérenne ou très faiblement variable au cours du temps, tels que le relief ou l'occupation du sol. Ainsi, une durée d'étude de quelques années (5 ans minimum) peut suffire pour mettre en évidence des structures spatiales redondantes aux fils des années. En revanche, pour des variables dont la distribution spatiale dépend en grande partie des conditions atmosphériques, comme par exemple la pluviométrie, une durée d'étude conséquente est nécessaire. Il est alors recommandé d'utiliser les durées indiquées pour le calcul de normales climatiques, telles qu'elles sont définies par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (WMO, 1989 ; Arguez and Vose, 2011), soit 30 années.

Dans le second cas, il est recommandé d'utiliser également une durée d'étude de 30 ans. Il est évident que la comparaison des caractéristiques climatiques des zones identifiées dans la région d'études avec d'autres régions viticoles requiert des périodes d'études identiques, en raison de l'évolution climatique sur le long terme.

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

Références bibliographiques :

1. Amerine, M.A., et A.J. Winkler. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. Hilgardia. 15(6): 493-673.
2. Arguez, A., et Vose, R.S., 2011. The Definition of the Standard WMO Climate Normal: The Key to Deriving Alternative Climate Normals. Bulletin of the American Meteorological Society 92: 699-704.
3. Baize D. et Girard M.-C. 2009. Référentiel Pédologique 2008. Ed. Quae, France, 406p.
4. Bindi, M., et F. Maselli. 2001. Extension of crop model outputs over the land surface by the application of statistical and neural network techniques to topographical and satellite data. Climate Research. 16: 237-246.
5. Bois, B., C. Van Leeuwen, P. Pieri, J.P. Gaudillère, E. Saur, D. Joly, L. Wald, et D. Grimal. 2008. Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather station measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area. *Dans* VIIème Congrès International des Terroirs viticoles. Nyons (Switerzland).
6. Dumas, V., E. Lebon, et R. Morlat. 1997. Différenciations mésoclimatiques au sein du vignoble alsacien. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin. 31(1): 1-9.
7. Düring, H. 1997. Potential frost resistance of grape: Kinetics of temperature-induced hardening of Riesling and Silvaner buds. Vitis. 36(4): 213-214.
8. Fregoni, M., et Pezzutto S. 2000. Principes et premières approches de l'indice de qualité Fregoni. Progr.Agric.Vitic.117: 390-396.
9. Fuller, M.P., et G. Telli. 1999. An investigation of the frost hardiness of grapevine (Wis vinvera) during bud break. Annals of Applied Biology. 135: 589-595.
10. Garcia de Cortazar Atauri, I. 2006. Adaptation du modèle STICS a la vigne (Vitis vinifera L.). Utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique a l'échelle de la France. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Montpellier (France), 292p.
11. Guyot, G. 1997. Climatologie de l'environnement. De la plante aux ecosystèmes. Éd. Masson, Paris, 544p.

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

12. Huglin, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. Comptes Rendus de l'Académie de l'Agriculture de France. 64: 1117-1126.

13. Huglin, P., et C. Schneider. 1998. Biologie et écologie de la vigne. Éd. Lavoisier, Paris, 370p.

14. Jacquet, A., et R. Morlat. 1997. Caractérisation de la variabilité climatique des terroirs viticoles en val de Loire. Influence du paysage et des facteurs physiques du milieu. Agronomie. 17(9/10): 465-480.

15. Jones, G.V., P. Nelson, et N. Snead. 2004. Modeling Viticultural Landscapes: A GIS Analysis of the Terroir Potential in the Umpqua Valley of Oregon. Geoscience Canada. 31(4): 167-178.

16. Jones, G.V., M.A. White, O.R. Cooper, et K. Storchmann. 2005. Climate change and global wine quality. Climatic Change. 73(3): 319-343.

17. Kliewer, W.M. 1977. Influence of temperature, solar radiation and nitrogen on coloration and composition of Emperor grapes. American Journal of Enology and Viticulture. 28(2): 96-103.

18. Lisek, J. 2009. Frost damage of buds on one-year-old shoots of wine and table grapevine cultivars in Central Poland following the winter of 2008/2009. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. 17(2): 149-161.

19. Matsui, S., K. Ryugo, et W.M. Kliewer. 1986. Growth inhibition of Thompson Seedless and Napa Gamay berries by heat stress and its partial reversibility by applications of growth regulators. American Journal of Enology and Viticulture. 37(1) : 67-71.

20. Riou, C. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne (E Commission, Éd.). Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, 322p.

21. Sepulveda, G., et W.M. Kliewer. 1986. Effect of high temperature on grapevines (Vitis vinifera L.). II. Distribution of soluble sugars. American Journal of Enology and Viticulture. 37(1): 20-25.

22. Sepulveda, G., W.M. Kliewer, et K. Ryugo. 1986. Effect of high temperature on grapevines (Vitis vinifera L.). I. Translocation of 14C-photosynthates. American Journal of Enology and Viticulture. 37(1): 13-19.

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012

23. Spayd S., Tarara J., Mee D. and Ferguson J., 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of Vitis vinifera cv. Merlot berries. Am. J. Enol. Vitic., 53, 171-182.

24. Tonietto, J. 1999. Les Macroclimats Viticoles Mondiaux et l'Influence du Mésoclimat sur la Typicite de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le Sud de la France - Méthodologie de Caractérisation. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Montpellier (France), 216p.

25. Tonietto, J., et A. Carbonneau. 1998. Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de l'A.O.C. Muscat du Ventoux dans le département du Vaucluse, France. Progres Agricole et Viticole. 115(12): 271-279.

26. Tonietto, J., et A. Carbonneau. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agricultural and Forest Meteorology. 124(1/2): 81-97.

27. WMO, 1989. Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals (No. WCDP-No. 10, WMO-TD/No. 341). World Meteorological Organization

28. World Reference Base for Soil Resources, 2006. A framework for International Classification, Correlation and Communication, Food and Agricultural Organisation of the United Nations, 128 p.

29. United States Department of Agriculture, Natural Ressources Conservation Services, 1993. Soil Survey Manual. Division Staff, 318 p.

30. United States Department of Agriculture, Natural Ressources Conservation Services, 1999. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpretation of soil surveys. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402, 870 p.

31. United States Department of Agriculture, Natural Ressources Conservation Services, 2010. Keys to Soil Taxonomy. Soil Survey Staff. Eleventh Edition.

Exemplaire certifié conforme Izmir, 22 juin 2012
Le Directeur Général de l'OIV
Secrétaire de l'Assemblée Générale
Frederico CASTELLUCCI

© OIV 2012