

R E V U E S U I S S E D E

VITICULTURE ARBORICULTURE HORTICULTURE



S E P T E M B R E - O C T O B R E 2 0 1 9 | V O L . 5 1 | N ° 5



- Protection des végétaux** Influence du réchauffement climatique sur la dynamique des populations de *Scaphoideus titanus* en Romandie **Page 276**
- Plantes aromatiques et médicinales** Comparaison agronomique et phytochimique de huit clones de *Mentha x piperita* L. **Page 308**

WWW.AGROVINA.CH



AGROVINA

**NOUVEAUTÉ
RETROUVEZ-NOUS
SUR 3 JOURS !**

AGROVINA C'EST...

- le **Salon à la mesure de votre domaine**;
- un salon biennal de **3 jours**;
- des **conférences techniques** de haut niveau;
- **200 exposants spécialisés** de Suisse, de France, d'Italie, d'Allemagne, d'Autriche, d'Angleterre et même d'Espagne;
- **18'000 visiteurs** professionnels, connaisseurs et intéressés;
- **20'000 m²** d'exposition;
- des **secteurs d'activités variés**: œnologie, viticulture, arboriculture, microbrasserie, cultures spéciales, traitement des sols, engrais antiparasitaires, machinisme agricole, distillation, marketing, distribution, packaging, conditionnement, logistique, transport, transformations de fruit;

... et surtout le lieu de **rencontre** pour s'informer, **échanger**, **partager** son savoir-faire et ses connaissances avec tous les acteurs des branches viticoles, œnologiques et arboricoles.

LES CONFÉRENCES TECHNIQUES

- MARDI 21 JANVIER 2020
17^e Journée suisse de l'arboriculture fruitière
Organisée par Agroscope
- MERCREDI 22 JANVIER 2020
Journée suisse de la viticulture
Organisée par Agroscope
- JEUDI 23 JANVIER 2020
Journée suisse d'œnologie
*Organisée par CHANGINS,
Haute école de viticulture et œnologie*

ŒNOLOGIE VITICULTURE ARBORICULTURE

13^e ÉDITION
21-23.01.20
CERM - MARTIGNY
SUISSE



DIRECTION & SecrÉTARIAT D'AGROVINA

Rue du Levant 91 • CH -1920 Martigny • Tél. +41 (0)27 722 00 34 • Fax +41 (0)27 721 07 22 • info@agrovina.ch • agrovina.ch

PARTENAIRES:

Univèrre
excellence in glass

syngenta

NEUWERTH

Un événement
FVS
GROUP



Photographie de couverture:
Gros plan de menthe poivrée
(*Mentha x piperita* '541').
Photographie Agroscope

Cette revue est référencée dans les banques de données internationales SCIE, Agricola, AGRIS, CAB, ELFIS et FSTA.

Editeur

AMTRA (Association pour la mise en valeur des travaux de la recherche agronomique), avenue des Jordils 5, 1006 Lausanne, Suisse.
www.revuevitiarbohorti.ch – ISSN 0375-1430

Rédaction

Edmée Rembault-Necker (directrice et rédactrice en chef)
E-mail: e.rembault-necker@agora-romandie.ch

Comité de lecture

Ch. Carlen (Agroscope), R. Baur (Agroscope), O. Viret (Etat de Vaud),
Ch. Rey, C. Briguet (CHANGINS), Ph. Droz (Agridea)

Publicité

Inédit Publications SA, Laura Di Stefano
Avenue de Rumine 37, CP 900, 1001 Lausanne, tél. +41 021 695 95 83

Préresse

Inédit Publications SA, 1001 Lausanne

Impression

Stutz Medien AG, 8820 Wädenswil

Parution

6 fois par an

© Tous droits de reproduction et de traduction réservés.
Toute reproduction ou traduction, partielle ou intégrale,
doit faire l'objet d'un accord avec la rédaction.

Tarifs des abonnements

Suisse	Europe	Etranger
Online: CHF 60.–	Online: CHF 60.–	Online: CHF 60.–
Print: CHF 60.–	Print: CHF 75.–	Print: CHF 80.–
Print et Online: CHF 70.–	Print et Online: CHF 85.–	Print et Online: CHF 90.–

Abonnements et commandes

AMTRA
Avenue des Jordils 5, 1006 Lausanne
Tél. +41 79 157 13 85
E-mail: info@revuevitiarbohorti.ch
ou www.revuevitiarbohorti.ch

Versement

CCP 10-13759-2 ou UBS Nyon, compte CD-100951.0

Commande de tirés à part

Tous nos tirés à part peuvent être commandés en ligne sur
www.revuevitiarbohorti.ch, publications

Sommaire

Septembre–Octobre | Vol. 51 | N° 5

273 Editorial

Protection des végétaux

- 276 **Influence du réchauffement climatique sur la dynamique des populations de *Scaphoideus titanus* en Romandie**
Baptiste Sneiders, Dominique Fleury, Stéphane Goyette et Mauro Jermini

Portrait

- 289 **Judith Auer change d'horizon: bonne retraite à elle!**
Loïc Bardet

Œnologie

- 290 **Evolution des acides dans les baies et dans les moûts au cours des derniers millésimes**
Marie Blackford, Julie Roesle-Fuchs, Markus Rienh, Ágnes Dienes-Nagy, Marilyn Cleroux, Jean-Laurent Spring, Gilles Bourdin et Fabrice Lorenzini

Application des produits phytosanitaires

- 300 **Pulvérisateurs de type gun et canon: étude de littérature sur leur utilisation et les risques spécifiques**
Pierre-Henri Dubuis, Vinciane Monod et Katia Gindro

Plantes aromatiques et médicinales

- 308 **Comparaison agronomique et phytochimique de huit clones de *Mentha x piperita* L.**
Claude-Alain Carron, Vanathy Erambamoorthy, José Vouillamoz et Christoph Carlen

La page de CHANGINS

- 325 **Dr Alexandre Mondoux: l'économie vitivinicole**
Denise Cugini

GIGANDET SA

Votre spécialiste
BUCHER
vaslin

VENTE - SERVICE - RÉPARATION - RÉVISION

Notre expérience dans vos projets sur mesure

Réception vendange



Pressoir



Filtre tangential



Oenopompe®



ADRESSES GÉNÉRALES

Gigandet SA Succursale de la Côte
Les Jaccolats 1 1166 Perroy
1853 Yvorne

POUR NOUS CONTACTER

info@gigandetsa.ch
+41 (0)24 466 13 83

POUR PLUS D'INFORMATION

www.gigandetsa.ch



LES FRÈRES DUTRUY
PÉPINIÈRES VITICOLES

**DES PROFESSIONNELS
À VOTRE SERVICE**

PLANTATION À LA MACHINE GPS
SÉLECTIONS MASSALES
NOUVEAUX CLONES
PRODUCTION DE PORTE-GREFFES CERTIFIÉS

Christian et Julien Dutruy, Grand-Rue 18, 1297 Founex
+41 22 776 54 02, christian@lesfreresdutruy.ch

De la continuité dans le changement



Edmée Rembault-Necker
Rédactrice en chef

En cet automne 2019, je suis très heureuse de prendre la succession de Madame Judith Auer à la tête de l'AMTRA. L'esprit analytique, les compétences scientifiques et le sens esthétique de Mme Auer auront imprégné la *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* (lire le portrait). Je profiterai de cet éditorial pour me présenter et vous livrer une esquisse des actualités de l'AMTRA et du contenu de ce numéro.

En 1999, alors fraîchement diplômée de l'EPFZ, j'ai découvert les cultures spéciales dans mon premier poste, chez Andermatt Biocontrol SA à Grossdietwil (LU). J'étais entre autres au service de la viticulture (lutte par confusion en particulier), ce qui m'a conduite à SupAgro Montpellier pour une formation en viticulture et œnologie. De retour en Suisse, après plusieurs stages en France et à l'étranger, j'ai eu la chance de promouvoir pendant huit ans les vins et produits du terroir du canton de Neuchâtel comme responsable de l'Office des vins et des produits du terroir, ancêtre de l'actuel Neuchâtel – Vins et Terroir.

Au cours de ces dernières années, j'ai élargi mon champ d'action par des missions d'enseignement dans des écoles d'agriculture (Strickhof, Agrilogie Grange-Verney) et des mandats de rédaction et de traduction sur des sujets agronomiques et pour des supports de cours. Dans ce cadre-là, je pense que l'intensification du lien entre l'AMTRA et les professionnels en formation pourrait stimuler l'élargissement du lectorat de la *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture*. D'un autre côté, la poursuite et le développement des collaborations avec des instituts universitaires et des hautes écoles spécialisées permettraient d'accroître la diversité des sujets traités. Cela renforcerait également les liens entre les acteurs des cultures agricoles spéciales et le monde académique.

Au début de l'été 2019, le congrès de l'OIV s'est tenu à Genève et l'AMTRA a profité de la concentration de sommités du monde viti-vinicole pour y célébrer la sortie officielle de son nouveau livre: *La Vigne 3 – Virus, bactéries et phytoplasmes*. La lecture de cet ouvrage permettra à chacun de se familiariser avec «ce vaste monde de pathogènes pratiquement invisibles», comme l'évoque le Dr. Olivier Viret. L'AMTRA mène actuellement la promotion de cet ouvrage en Suisse et dans les pays francophones.

L'AMTRA va naturellement poursuivre sa mission de mise en valeur des travaux de la recherche agronomique par la publication de la *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture*. Le numéro que vous tenez entre vos mains débute par un article sur l'évolution de la dynamique des populations de *Scaphoideus titanus*, fameux vecteur de la flavescence dorée, en fonction de deux scénarii de réchauffement climatique. Une étude sur l'évolution des acides dans les baies et dans les moûts au cours des derniers millésimes fera pénétrer le lecteur dans le monde de l'œnologie et le portrait du Dr Alexandre Mondoux, professeur d'économie vitivinicole à Changins rappelle le lien essentiel avec le marché du vin. Les aspects techniques sont aussi abordés, avec un état des lieux sur l'utilisation et les risques spécifiques des pulvérisateurs de type gun ou canon. Enfin, à l'heure où les plantes aromatiques suisses s'exportent bien, particulièrement sous forme de friandises, les scientifiques d'Agroscope avancent dans leurs investigations sur la menthe poivrée et le lecteur verra comment et sur quels critères.

Bonne lecture!



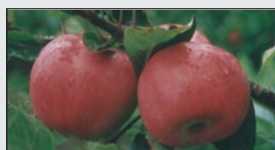
DOMAINE DU PETIT TRUET

F O U N E X - L A C

MICHEL ET HÉLI DUTRUUY
PÉPIÈNIÈRES VITICOLES

CHEMIN DU LAC 6 – 1297 FOUNEX – TÉL. 079 607 83 61 – MICHEL.DUTRUUY@BLUEWIN.CH

Quatre générations d'expérience pour une qualité irréprochable



La pépinière romande
à votre disposition



Eurolant S.à.r.l.

Arbres fruitiers
toutes espèces fruitières

arbres formés
hautes tiges

greffage sous contrat



Eurolant S.à.r.l. – Route de l'Etraz, 1267 Vich – Fax 022 364 69 43 – Tél. 022 364 69 33 – www.eurolantsarl.ch

NOS ARTICLES POUR LA VIGNE

Piquets vigne – Tuteurs – Fils de fer
Ecarteurs toutes marques – Sécateurs
Agraffes de palissage – Tendeurs fils
Amares – Chaises viticoles – Filets latéraux
Effaroucheurs d'oiseaux – Poudreuses
Ficelles – Attacheuse Mage – etc.

POUR TOUS RENSEIGNEMENTS
OU COMMANDES,
UN SEUL NUMÉRO: 079 332 24 21

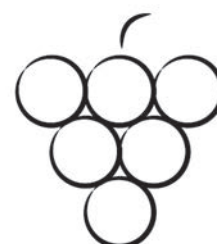
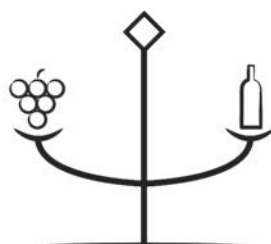
LINIGER agro
SA
PHYTOSANITAIRES - ENGRAIS
1267 Vich

Contact: Jean-Yves Suardet, mobile 079 332 24 21

Route de l'Etraz 8, 1267 Vich
Tél. 022 361 45 39
E-mail: info@linigeragro.ch

La Bourse des Vins

Plateforme de courtage en ligne



www.bourse-des-vins-suisse.ch

Inscrivez-vous dès maintenant



viens participer au

CONCOURS NATIONAL DE TAILLE VITICOLE

qui aura lieu au château d'Allaman le 3 décembre 2019

SYSTÈME DE TAILLE GUYOT | NOMBREUX PRIX À GAGNER

Le gagnant sera invité à participer au Concours international qui aura lieu en Suisse le 10 mars 2020

Règlement disponible et inscription obligatoire auprès du partenaire de l'organisation du concours*

nombre limité de participants

Swiss Precision. Made to Last.
FELCO SA | 2206 Les Geneveys-sur-Coffrane

*en partenariat avec
FELCO SA - Marché Suisse
Rue de la Rinche 3, 2206 Les Geneveys-sur-Coffrane
Tel: 032 737 18 80 | felcosuisse@felco.ch



Influence du réchauffement climatique sur la dynamique des populations de *Scaphoideus titanus* en Romandie

Baptiste SNEIDERS¹, Dominique FLEURY², Stéphane GOYETTE³ et Mauro JERMINI⁴

¹ Institut des sciences de l'environnement, Université de Genève, Suisse

² Office cantonal de l'agriculture et de la nature, 1228 Plan-les-Ouates, Suisse

³ Nonlinearity and Climate Group, Université de Genève, Genève, Suisse

⁴ Agroscope, 6593 Cadenazzo, Suisse

Renseignements: Dominique Fleury, tél. +41 22 388 71 71, e-mail: dominique.fleury@etat.ge.ch



Adulte de *Scaphoideus titanus*. (Photo Agroscope, Arnaud Conne)

Introduction

En raison du réchauffement climatique planétaire et de celui particulièrement marqué en Suisse, le développement de certains insectes sera fortement accéléré (Bloesch et De Siebenthal 1988). La viticulture helvétique pourrait souffrir d'un impact plus prononcé des insectes ravageurs (OcCC 2007). Parmi ces insectes, la cicadelle *Scaphoideus titanus* Ball (Hemiptera: Cicadellidae) a reçu une attention particulière au cours des quinze dernières années, puisqu'elle est le

vecteur principal de la flavescence dorée (Schvester et al. 1961), une grave maladie de la vigne causée par le phytoplasme *Candidatus phytoplasma vitis* (IRPCM 2004). La maladie fait l'objet de mesures officielles visant à endiguer sa propagation, du fait de son caractère épidémique et d'un impact économique négatif élevé. Pour ces raisons, elle est inscrite comme organisme de quarantaine et soumise à une lutte obligatoire (OPV 2010).

S. titanus a été observé pour la première fois en France en 1958 (Bonfils et Schvester 1960); sa propa-

gation en Europe semble principalement liée aux activités humaines plutôt qu'à de multiples introductions (Papura *et al.* 2009). Actuellement, son expansion est limitée au nord par l'impossibilité d'effectuer un cycle de vie complet à cause d'une saison trop courte (Chuche 2010). En Suisse, il a été signalé pour la première fois au Tessin en 1967 et dans le canton de Genève en 1996. En 2007 et 2016 respectivement, il a été capturé dans les cantons de Vaud et du Valais (Schaub et Linder 2007; Linder *et al.* 2019). Au Tessin, la flavescence dorée est apparue en 2004 (Schaerer *et al.* 2007) et l'application des mesures de lutte obligatoire a été imposée. Malgré l'intensification de la surveillance du vignoble suisse, cette maladie de quarantaine a fait son apparition dans les cantons de Vaud et du Valais en 2015 et 2016 respectivement (Schaerer et Linder 2017).

L'objectif de cette étude est d'estimer l'impact qu'auraient deux scénarios de réchauffement climatique futur sur le cycle de vie, la distribution des populations de *S. titanus* en Suisse et la possibilité de produire une hypothétique seconde génération.

Méthodes

Données météorologiques utilisées

Les observations de la température de l'air au niveau de l'abri météorologique (à 2 m du sol) de MétéoSuisse, obtenues par l'intermédiaire du portail d'IDAweb, ont été utilisées. Elles sont facilement accessibles aux chercheurs au format .csv et couvrent une large plage temporelle. Les températures horaires sur la période du 31 décembre 1981 au 13 juin 2018 de six stations météorologiques (tabl. 1) jugées représentatives des différentes régions viticoles considérées, ont été employées dans cette étude. Une correction hydrostatique utilisant un gradient vertical moyen de 6,5°C/km leur a été appliquée pour s'affranchir de biais liés à la différence d'altitude

entre la station météorologique et l'altitude effective des sept vignobles à l'étude.

Afin de représenter l'effet du réchauffement climatique à l'emplacement des vignobles, les séries temporelles observées de T2m sont perturbées à l'aide de la méthode dite «des deltas» (Ruiter 2012). Ces deltas expriment les taux de réchauffement tels que calculés sur la maille d'un modèle climatique régional de haute résolution spatiale. Alors, les séries temporelles observées de T2m sont modifiées avec le temps de telle manière qu'elles représentent une évolution réaliste au cours du XXI^e siècle à des taux correspondant aux forçages relatifs aux scénarios d'émission de gaz à effet de serre.

Résumé La cicadelle *Scaphoideus titanus* est vectrice de la flavescence dorée de la vigne, grave maladie à phytoplasme. La distribution potentielle de *S. titanus*, son cycle de vie et la possibilité d'une seconde génération ont été estimés aux horizons 2050 et 2070. Deux scénarios de réchauffement ont été choisis: réduction (RCP2,6) et augmentation (RCP8,5) des émissions de gaz à effet de serre dès 2050. Les valeurs écologiques de *S. titanus* ont été croisées avec une émulation des températures selon la méthode des deltas. Selon le RCP2,6 et RCP8,5, sa distribution devrait s'étendre au nord et en altitude, tout en se maintenant dans les régions où il est déjà établi. Les éclosions seraient plus précoces et étalées. A l'horizon 2070 (RCP8,5), la variabilité interannuelle des conditions météorologiques pourrait menacer la survie des populations. Enfin, le Tessin deviendrait de moins en moins adapté. Le scénario RCP8,5 permettrait de produire une hypothétique seconde génération.

Tableau 1 | Vignobles considérés, localisation géographique et station météorologique de référence.

Vignoble	Latitude (deg.)	Longitude (deg.)	Altitude (m)	Station MétéoSuisse
Tsâlin (VS)	46,25	7,31	900	Sion
Contone (TI)	46,15	8,91	203	Magadino/Cadenazzo
Satigny (GE)	46,21	6,02	457	Genève/Cointrin
Changins (VD)	46,39	6,23	439	Changins
Châteauneuf (VS)	46,21	7,30	485	Sion
Lutry (VD)	46,50	6,68	440	Pully
Cressier (NE)	47,05	7,03	480	Cressier

Deux scénarios, dits Representative Concentration Pathway (RCP) (GIEC 2014), ont été considérés. Le modèle climatique numérique RCM HIRHAM5 Version 1 du Danish Meteorological Institute, appliqué dans le cadre du projet Euro-CORDEX, a quant à lui été retenu. Des RCM, tels que le modèle HIRHAM5, s'accorderaient à propos des températures moyennes, ainsi que les extrêmes actuels simulés (Beniston *et al.* 2007). Ayant un impact sur la mortalité des adultes et des œufs de *S. titanus*, ces extrêmes sont importants. Le domaine EUR-11, considérant les scénarios RCP2,6 (limitation du forçage radiatif à +2,6 W/m² d'ici à 2100) et RCP8,5 (limitation à +8,5 W/m²) du GIEC (2014), avec la variable T2m, à fréquence temporelle journalière, ces deux scénarios ont alors été utilisés.

Les températures futures ont été émuloées à partir des observations. Ces dernières ont été perturbées avec des changements simulés issus de résultats de simulations climatiques pour les horizons 2050 (2050–2087) et 2070 (2070–2107), avec les deux scénarios RCP précités. L'émulation fait donc évoluer les T2m locales de façon réaliste et représente l'effet du réchauffement climatique à une échelle plus fine que celle des modèles régionaux. Pour le calcul des deltas, des températures simulées horaires ont été utilisées; l'année a été subdivisée en douze mois, et les distributions en quartiles. C'est cette partition qui restitue au mieux les variations de températures lors de la confrontation de la simulation future avec la série de contrôle.

Valeurs écologiques

Le calcul des degrés-jours (DJ) de développement de *S. titanus* utilise les températures horaires émuloées décrites précédemment. Les DJ ont été calculés sur la base de la moyenne journalière des températures horaires (Bloesch et De Siebenthal 1988); il existe peu de données précises concernant le développement de *S. titanus*. L'étude de Rigamonti *et al.* (2011) est utilisée comme base principale, complétée si nécessaire par d'autres données rapportées au seuil de développement, soit: $T_0 = 8,7^\circ\text{C}$. Les DJ pour chaque stade et pour le développement des stades L1 à l'adulte ont été obtenus selon l'équation suivante:

$$DJ = \sum_j^N (T_{m,j} - T_0) \forall T_{m,j} \geq T_0 \quad (1)$$

Avec $T_{m,j}$ la température moyenne journalière au jour j . Les nombres de 195 (œufs à L1) et 50 DJ (L1 à L2) sont directement issus de Rigamonti *et al.* (2011), L1 à L5 désignent les cinq stades juvéniles de *S. titanus*. Le nombre de DJ pour les stades L2 à L5, non précisés chez Rigamonti *et al.* (2011), a été obtenu en considérant le rapport des DJ de chaque stade (L2 à L5) de Falzoi *et al.* (2014), rapportés aux nombres de DJ nécessaires au passage du stade L2 à l'adulte (526.3), issus du travail de Rigamonti *et al.* (2011). Le nombre de DJ pour atteindre l'accouplement et la ponte a été déterminé à partir des jours fournis par Rigamonti *et al.* (2017), et converti en DJ (Eq. 1). La dynamique d'éclosion est celle proposée par Chuche (2010), dont les jours ont été convertis en DJ (Eq. 1). Ce sont les ré-

Tableau 2 | Paramètres de développement de *S. titanus* estimés à la suite de la revue de la littérature et nombres de DJ (température minimale de développement de 8,7°C) nécessaires à l'éclosion de 25, 50 et 75% des œufs selon les températures hivernales. Elles ont une influence sur la dynamique de développement de *S. titanus*, estimées d'après Chuche (2010).

Stade	Pourcentage d'éclosion		Jours passés à 5°C			
			≤ 10	10 à 24	24 à 57	≥ 57
			Degrés-jours (DJ)			
L1	25%		320	300	255	230
	50%		460	460	390	300
	75%		585	645	585	355
	100%		1290	965	1150	715
	Œuf à L1	195				
L2	L1 à L2	50				
L3	L2 à L3	115				
L4	L3 à L4	140				
L5	L4 à L5	145				
Adulte	L5 à adulte	175				
Accouplement		115				
Première ponte		100				

sultats obtenus à partir de Jermini *et al.* (2015) qui ont été utilisés comme nombre de jours post-adulte pour atteindre l'accouplement, puis la première ponte, convertis en DJ (Eq. 1). Enfin, le nombre de jours minimal pour que *S. titanus* soit infectieux est fixé à 30 jours après éclosion, selon Schvester *et al.* (1969), cité par plusieurs auteurs dont Mazzoni *et al.* (2009) et Bressan *et al.* (2006) (tabl. 2).

A ces DJ s'ajoutent des températures létales (T_{let}): 40°C pendant trois heures tuera 50% des adultes et larves (Rigamonti *et al.* 2011) ou 28°C pendant six heures pour les œufs (Rigamonti *et al.* 2014). La fécondité s'exprime en nombre d'œufs potentiels (O) et est fonction de la température diurne de 8 h à 18 h (T_{fec}) selon Rigamonti *et al.* (2017) (fig. 1):

$$O = -0,7019 T_{fec}^2 + 30,2693 T_{fec} - 276,1067 \quad (2)$$

Croisement des données

Les températures émuloées ont été croisées avec les informations issues des modèles de développement de *S. titanus* (fig. 2). Cela a permis de déterminer le nombre d'œufs potentiels par femelles. Une comparaison avec des observations en vignobles a validé l'émulation. L'applicabilité de la méthode des deltas à des températures horaires a également été vérifiée. Le modèle a été validé par confrontation avec les relevés de populations provenant de la littérature (Linder et Jermini 2007). Cela a également permis de déterminer différents seuils de fécondité (= nombre d'œufs médian par femelle) pour un lieu géographique: «pas adapté» = ≤ 10 ; «adapté» = entre 10 et 40 et «très adapté» = ≥ 40 .

Résultats et discussion

Fécondité potentielle de *S. titanus*

Dans les conditions actuelles (Historique) (fig. 3), le Tessin est la seule région très adaptée (env. 43 œufs). Les vignobles de Satigny (env. 33,5 œufs) et Changins (35 œufs) ainsi que Lutry et Châteauneuf (respectivement env. 38 et 39,5 œufs) sont adaptés. Cressier (24 œufs) et les régions de plus haute altitude telles que Tsâlin (7,5 œufs) ne sont pour l'instant pas adaptées. Lors d'étés caniculaires, comme en 2003, le phénomène inverse s'observe; le nombre d'œufs médian par femelle était plus important pour les vignobles en haute altitude (plus de 30) et au nord (env. 25). Au contraire, dans tous les autres vignobles, à l'exception de Lutry (env. 40), il a été inférieur à la plupart des autres années: < 10 à Satigny, environ 20 à Contone, 30 à Châteauneuf et 12 à Changins.

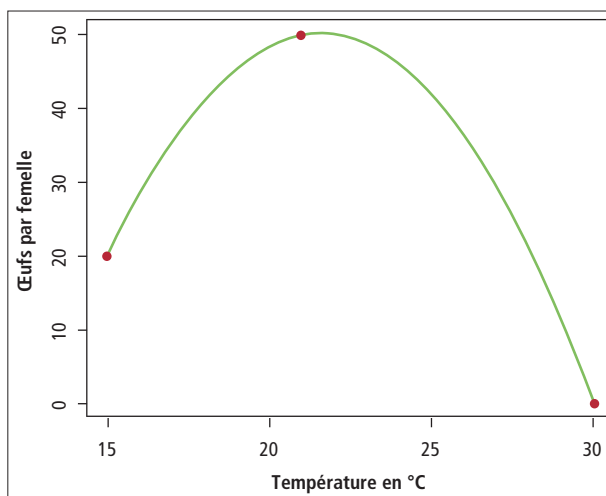


Figure 1 | Courbe de fécondité exprimée en œufs par femelle selon la température, issue de l'Eq. 2, basée sur les données de Rigamonti *et al.* (2017) matérialisées par les points rouges. La paramétrisation, ici quadratique, est décrite par la courbe verte. Par conséquent, la fécondité est optimale pour une température de 21,6°C et diminue si les températures sont supérieures ou inférieures à cette dernière.

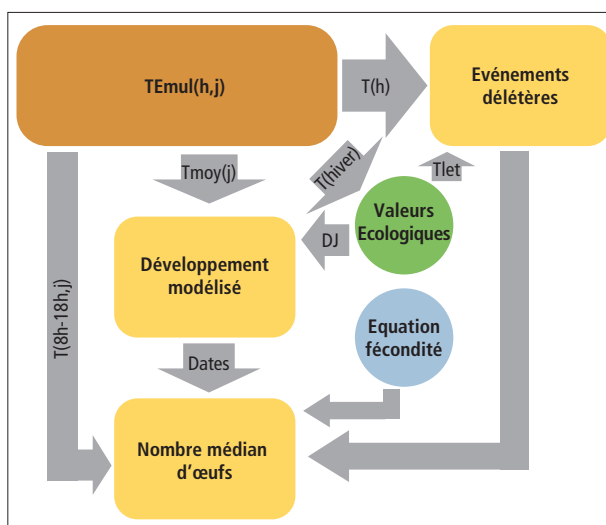


Figure 2 | Fonctionnement du modèle de développement de *S. titanus*, avec T_{Emul} , la température horaire future émuloée (période 2050-2087 ou 2070-2107, selon le scénario), l'heure h , le jour j et mois m . T indique la température et hiver la période hivernale allant du 1^{er} janvier à 63 jours après (Chuche 2010). Le développement modélisé se fonde sur le croisement des températures horaires et des degrés-jours, selon Bloesch et De Siebenthal (1988). Il permet de déterminer les dates d'apparition des stades (L1 à première ponte) de *S. titanus*. Les températures horaires journalières correspondant à ces dates ($T_{8h-18h,j}$), croisées avec les événements délétères et l'équation de fécondité (cf. Eq. 2 et fig. 1), fournissent un nombre d'œufs médian par femelle.

Cela concorde avec l'hypothèse avancée par Chuche et Thiéry (2009), selon laquelle la limitation de la distribution géographique de *S. titanus* dans les régions nordiques (latitude vs altitude) est due à son incapacité à effectuer un cycle de vie complet. Cela correspond aussi avec la distribution suisse actuelle de *S. titanus*, à savoir qu'il n'a pas été observé dans les vignobles de Cressier et Tsâlin, alors qu'il est présent à Genève depuis 1996 (Linder et Jermini 2007) et largement distribué dans la plaine du Rhône (Linder et Jermini 2007). Notre modèle (fig. 2) indique une moyenne de 33,5 œufs par femelle à Satigny et de 43 à Contone, ce qui est corroboré par les observations de population sur le terrain: env. six fois plus en 2006 (Linder et Jermini 2007). Il est à noter que le modèle ne tient pas compte d'autres variables (prédation, pratiques culturelles, etc.), qui pourraient influencer ce rapport. Ces résultats soutiennent le choix de l'Eq. 2, représentant une paramétrisation possible du modèle de développement de *S. titanus* (fig. 1). Cette paramétrisation implique aussi que les épisodes prolongés de températures élevées ont également un impact sur la survie de la population de *S. titanus*. Ils lui permettraient en effet de mieux se développer dans les régions normalement peu ou pas adaptées, avec plus de 20 œufs à Tsâlin, et plus de 10 à Cressier (comparé aux années précédentes). Au contraire, ils lui portent préjudice dans les zones généralement moyennement ou très adaptées (par exemple: Satigny et Contone, baisse d'environ 20 œufs). Le cas du vignoble de Lutry est particulier, car l'année 2003 ne se démarque pas des autres valeurs médianes (env. 40 œufs), contrairement à l'ensemble des autres vignobles. Lutry subirait un effet de modérateur thermique venant du Léman (Marshak 2010). Son influence était probablement en cause, tamponnant les variations de températures, ce qui aurait permis le maintien de la fécondité de *S. titanus* (nombre d'œufs par femelle) et la survie d'un nombre supérieur d'œufs.

Selon la simulation RCP2,6 pour la période 2050–2087 (fig. 3), la situation est semblable à la période actuelle pour les vignobles de Contone: 42,5 œufs; Tsâlin: 5 œufs. Elle devient plus adaptée pour Satigny: 38 œufs; Changins: 39 œufs; Cressier: 32 œufs avec une importante variabilité interannuelle. Enfin, Châteauneuf et Lutry deviennent très adaptés, avec 40,5 et 41,5 œufs. A l'horizon 2070–2107 (fig. 3, 2070 RCP2,6), la situation diffère peu de celle décrite au RCP2,6 2050, et reste plus favorable à *S. titanus* que la période actuelle.

En accord avec l'augmentation modérée des températures, le scénario RCP2,6 aura un impact favorable

sur les populations de *S. titanus*. Son développement sera favorisé dans la plupart des vignobles, les rendant autant adaptés que l'est le Tessin actuellement. Les régions nordiques seront plus adaptées. Cela devrait favoriser une extension de la distribution de *S. titanus*, s'il atteint ces vignobles par le transport de matériel végétal ou des épisodes de forts vents (Chuche et Thiéry 2014).

Selon la simulation RCP8,5 pour la période 2050–2087 (fig. 3), le réchauffement rend la situation favorable pour le développement de *S. titanus* dans tous les vignobles sauf celui de Contone. Ainsi, Lutry, Changins, Satigny et Châteauneuf atteignent respectivement 43,5, 41, 40 et 42 œufs, soit autant que Contone actuellement. Tsâlin devient adapté, avec 27 œufs. De plus, la variabilité interannuelle y est importante et la situation semblable à celle de Cressier actuellement. Cressier atteint 41,5 œufs et sera plus adapté que Lutry actuellement. Au contraire, à Contone, la situation devient plus défavorable: 30 œufs, avec une importante variabilité interannuelle.

A l'horizon 2070–2107, RCP8,5 (fig. 3), Cressier devient très adapté avec 41,5 œufs. Lutry l'est également (40,5 œufs), avec une faible variabilité interannuelle. Tsâlin atteint 37,5 œufs, affichant une faible tendance positive. La situation y est semblable à celle de Lutry actuellement. La situation devient négative pour Satigny comme pour Châteauneuf, avec respectivement 35,5 et 39,5 œufs, avec une importante variabilité interannuelle. Changins devient adapté avec une importante variabilité interannuelle. Pour terminer, à Contone, la situation devient très défavorable: 21,5 œufs, avec une importante variabilité interannuelle.

Le réchauffement climatique en Suisse tel que simulé par le scénario RCP8,5 impliquerait un chamboulement des zones adaptées à la survie d'une population de *S. titanus* (fig. 3). Il y aurait une transition des zones les plus adaptées vers le nord et en altitude du fait de la possibilité d'effectuer un cycle de vie complet pour une plus importante part de la population. Plus au sud (Tessin et Genève), la distribution de *S. titanus* sera potentiellement contrainte par des températures généralement trop élevées, limitant la fécondité des femelles. Même si quelques œufs pourraient ne pas se développer du fait des températures supérieures à 28°C (T_{let} pour les œufs), il apparaît que dans tous les cas c'est la fécondité des femelles qui implique le faible nombre d'œufs médian, et non la mort des œufs. Des résultats similaires ont été obtenus pour *Hypothenemus hampei*, insecte à répartition pantropicale et ravageur du caféier. Le réchauffement climatique actuel lui

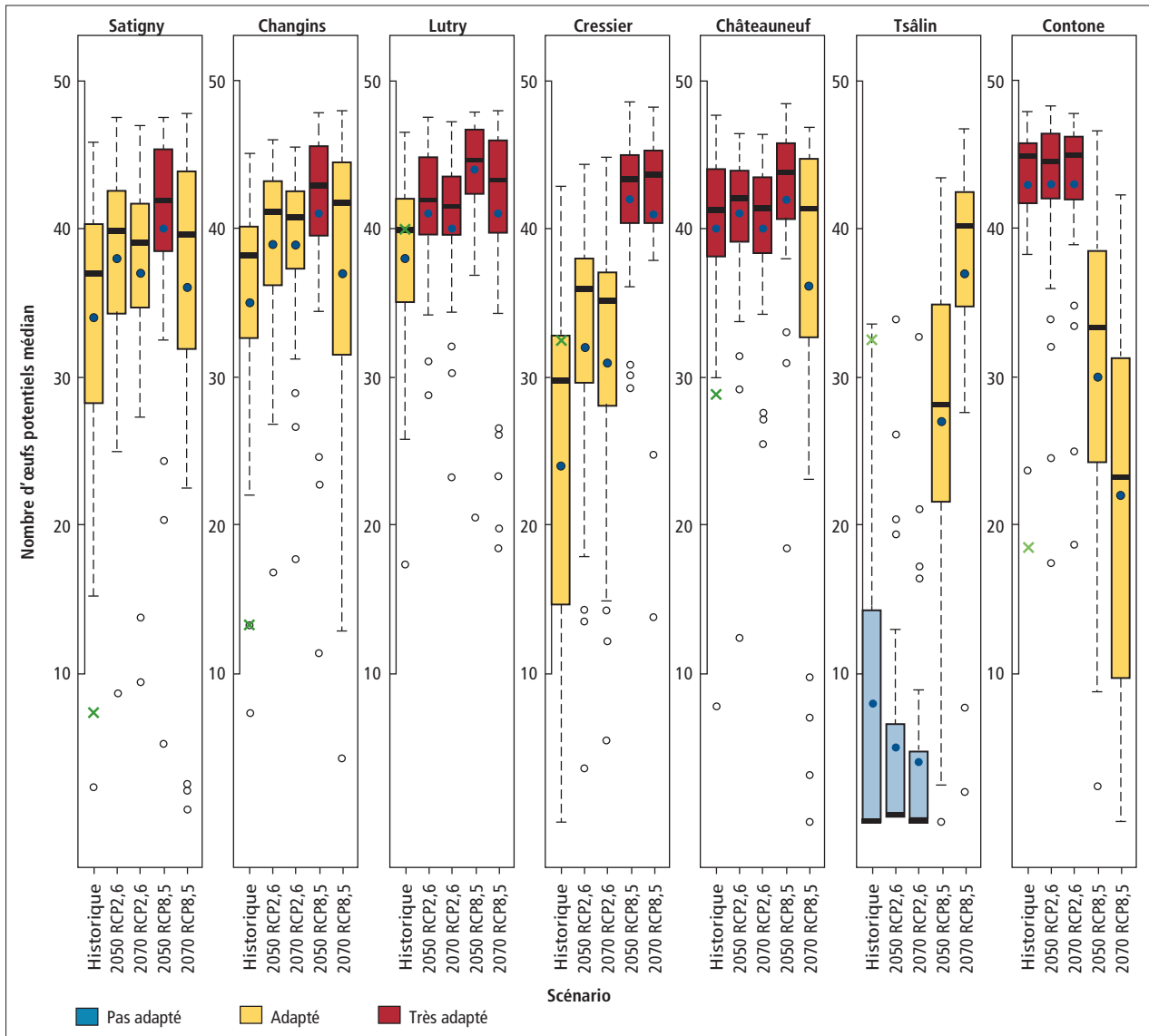


Figure 3 | Boxplots illustrant le nombre d'œufs potentiels médian par femelle annuel selon les vignobles, selon le scénario: Historique, période actuelle; RCP2,6, réduction des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050; RCP8,5 scénario d'augmentation de ces émissions. Selon la période: horizons 2050 et 2070. La croix verte représente l'année 2003, le trait gras noir la médiane, le point bleu la moyenne, les points vides les valeurs extrêmes, l'extrémité inférieure du rectangle représente le premier quartile (Q1) et l'extrémité supérieure le troisième quartile (Q3). Hors valeurs extrêmes, les bornes extérieures des boxplots représentent les données comprises entre $Q1+1,5 \times IQ$ et $Q3+1,5 \times IQ$, avec IQ l'intervalle interquartile. Ces intervalles donnent un aperçu de la variabilité interannuelle.

a permis d'étendre sa répartition dans des zones auparavant trop froides pour qu'il accomplisse un cycle de vie, mais des températures trop élevées (32°C) ne sont pas non plus adaptées à son développement (Jaramillo *et al.* 2009). Zhang *et al.* (2015) rapportent également que, pour la teigne des crucifères (*Plutella xylostella*, à répartition mondiale), des périodes de stress thermique durant le stade adulte peuvent réduire la durée de vie de l'insecte et diminuer le nombre d'œufs pondus par jour et leur proportion. Il en résulterait une baisse de la fécondité des individus. Leur travail met

également en évidence l'importance des stress thermiques subis par l'insecte au cours des différents stades de son développement: les conséquences en sont complexes, la capacité des individus à engendrer une descendance viable étant parfois favorisée et parfois non. Cet aspect n'a pas été pris en compte dans le modèle développé dans cette étude, faute de données disponibles dans la littérature.

Le Léman pourrait ne pas suffire à tamponner les températures élevées lors d'épisodes caniculaires prolongés. En effet, lors des périodes de fortes chaleurs,

comme en 2003, la stabilité thermique des eaux de surface et leur température sont supérieures à la normale (Perroud et Goyette 2010). Il en a résulté un moindre transfert de chaleur durant les «heures chaudes» par convection des couches supérieures vers les couches en profondeur (Jankowski *et al.* 2006), en plus d'un transfert plus important de chaleur de l'eau à l'atmosphère durant les «heures fraîches» du jour (Marshak 2010). Ainsi, les épisodes de fortes chaleurs, en empêchant une baisse des températures pendant la nuit, risquent de porter préjudice aux populations de *S. titanus* en place. Néanmoins, *S. titanus* devrait pouvoir s'y maintenir en densité importante, contrairement à des régions telles que Satigny, où la variabilité interannuelle sera très marquée et les températures moins tamponnées, car Satigny est plus éloigné du lac. C'est également à Satigny que la seule occurrence d'un épisode atteignant le seuil délétère pour 50% de la population adulte, tel que fixé dans le modèle (3 h à 40°C, fig. 2) a été émulée (année 2103, RCP8,5).

Une transition des aires de distribution de *S. titanus* à la fois vers les plus hautes latitudes et altitudes serait à prévoir. Considérant une distance d'environ 60 km entre la latitude de l'arc lémanique et celle de Cressier, ainsi qu'une différence d'altitude d'environ 400 m entre Châteauneuf et Tsâlin, les résultats concordent avec les estimations de Parmesan et Yohe (2003). Ces derniers suggèrent que le réchauffement climatique actuel induit un déplacement de 6,1 km vers le nord et 6,1 m en altitude par année en moyenne pour, entre autres, des papillons. Cette tendance a également été observée chez plusieurs espèces

d'*Heteroptera spp.* (Dmitry 2007), et chez certaines espèces de cicadelles (Biedermann *et al.* 2005). Cela serait en partie imputable à une mortalité plus importante des œufs, à la suite d'hivers plus doux. Il semble toutefois qu'il soit difficile de prévoir avec certitude la distribution des cicadelles suite au réchauffement climatique compte tenu de la nature complexe des interactions trophiques et abiotiques, mais celui-ci risque de leur porter préjudice (Biedermann *et al.* 2005).

Cycle de vie

Un réchauffement climatique modéré (RCP2,6) n'aura pas d'impact significatif sur la dynamique (succession des stades) de population de *S. titanus*, même à l'horizon 2070. Selon le scénario RCP8,5, les populations pourront toujours se reproduire dans des lieux où *S. titanus* est déjà installé. Les éclosions y débiteront 6 à 8 jours plus tôt et les premiers individus du troisième stade de développement seraient 6 à 7 jours plus précoces. La durée d'éclosion serait rallongée de 2 jours (fig. 4).

Cela risquerait d'avoir un impact direct sur la gestion de *S. titanus* en cas de nécessité de traitement insecticide (de synthèse ou biologique). Il pourrait être plus difficile de toucher autant d'individus avec les mêmes traitements qu'actuellement. Il y aurait également un risque que l'application d'insecticide ne puisse plus être réalisée en combinaison avec d'autres interventions sur le vignoble, car la dynamique de population serait différente et il y aurait un décalage des stades vis-à-vis de la phénologie de *V. vinifera*. Les viti-

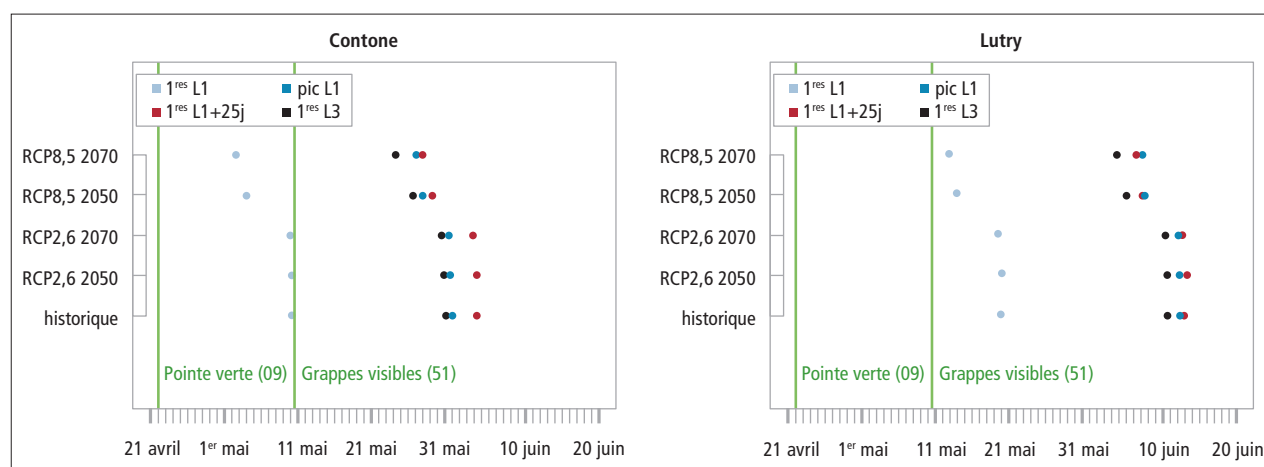


Figure 4 | Dynamique d'éclosion des premières larves (L1) et de développement de *S. titanus* selon les scénarios, à Contone et Lutry. Le choix de représentation des L1, des L3 et des 25 jours ajoutés aux L1 correspond à la stratégie de lutte insecticide utilisée actuellement, le premier traitement des vignobles intervenant ± trois semaines après l'observation des premières L1. Lignes vertes = stades phénologiques de la vigne (Bloesch et Viret 2008).

culteurs devront donc optimiser les traitements (comm. pers. Linder, téléphone du 22.07.18) du fait de leur coût temporel et économique.

S. titanus pourrait, du fait de cette dynamique et de l'impact du réchauffement climatique sur la phénologie de *V. vinifera*, avoir des difficultés à survivre s'il n'est plus assez synchronisé avec le développement de sa plante hôte, particulièrement au Tessin: la sortie de la dormance de *V. vinifera* ne semble pas affectée par le changement climatique (Bloesch *et al.* 2009), et les premiers individus éclos à Contone (3 mai) apparaissent après la pointe verte (23 avril), 8 jours plus tôt en comparaison de la période actuelle. Ces éclosions auraient lieu avant que les feuilles et rameaux, dont les larves ont besoin pour se nourrir, ne soient apparus. Or l'asynchronisme de certaines espèces d'insectes (phalène brumeuse *Operophtera brumata*) par rapport à leur plante hôte pourrait leur nuire du fait d'une mortalité larvaire plus importante (Cannon 1998). Malgré une accélération de la phénologie de *V. vinifera*, il semble peu probable que les adultes *S. titanus* soient affectés par sa sénescence précoce, puisqu'il est polyphage (Trivellone *et al.* 2016).

Seconde génération

Seul le scénario RCP8,5 permettrait une seconde génération à l'horizon 2050 (tabl. 3): à Lutry et Contone, et dans presque tous à l'horizon 2070: Satigny, Changins, Châteauneuf, Lutry et Contone. A l'horizon 2070, aucun site ne permettrait de produire suffisamment d'œufs pour avoir une seconde génération viable, excepté à Contone (18 œufs). En effet, les individus ne parviennent pas à pondre.

Cette seconde génération est hypothétique car, selon le modèle (fig. 2), les individus éclos seraient issus de la ponte des premiers 25% de la génération précédente. Compte tenu de leur nombre, leur impact serait modéré. Dans des régions telles que le Tessin, qui devraient ne pas être adaptées à l'horizon 2100, la bivoltinité de *S. titanus* compromettrait davantage

le maintien d'une population. En revanche, les concentrations de *Candidatus phytoplasma vitis* dans le phloème de *V. vinifera* étant plus élevées en fin de saison (Bressan *et al.* 2006), les adultes *S. titanus* pourraient induire une seconde transmission. De plus, il n'existe à l'heure actuelle qu'une seule mention d'une éventuelle bivoltinité de *S. titanus*, dans l'Aude (France) (Chuche et Thiéry 2014). Même s'il paraît peu probable que *S. titanus* puisse à l'avenir être bivoltin chaque année, Masters *et al.* (1998) avancent que certaines espèces de cicadelles (*Auchenorrhyncha spp.*) sont en mesure de produire des générations supplémentaires, particulièrement celles qui sont déjà bi- ou multivoltines. De plus, des tests effectués sur une punaise (*Graphosoma lineatum*) indiquent que, dans des conditions climatiques plus chaudes, cet insecte univoltin sans diapause obligatoire peut devenir bivoltin (Musolin et Saulich 2001).

Tableau 3 | Degré d'adaptation des vignobles à une seconde génération de *S. titanus*, selon les scénarios envisagés (bleu: pas adapté; jaune: adapté; rouge: très adapté).

Scénario RCP	Satigny	Changins	Lutry	Cressier	Châteauneuf	Tsâlin	Contone
Historique							
2,6 2050							
2,6 2070							
8,5 2050							
8,5 2070							

Conclusions

Ce projet a étudié l'impact en Suisse de deux scénarios de réchauffement climatique sur la cicadelle *S. titanus*, vecteur reconnu de la flavescence dorée, et il a mis en évidence certains éléments.

- Actuellement, des épisodes caniculaires pourraient favoriser sa survie au nord et en altitude et lui porter préjudice ailleurs.
- Selon le scénario RCP2,6 (réduction des émissions de gaz à effet de serre à partir de 2050), la situation devrait rester similaire à ce que l'on observe actuellement.
- Selon le scénario RCP8,5 (augmentation des émissions de gaz à effet de serre), il devrait y avoir une extension de la distribution de *S. titanus* vers le nord et en altitude. Plus au sud, la distribution sera limitée par des températures plus élevées, qui auront un impact négatif sur la fécondité des femelles. Les éclosions seront avancées de près d'une semaine à l'horizon 2070. Cela impliquerait une précocité des traitements insecticides.
- Le scénario RCP8,5 permettrait à *S. titanus* de produire une hypothétique seconde génération. Celle-ci pourrait occasionner une seconde vague d'infection, surtout au Tessin à l'horizon 2070.
- Dans les deux scénarios analysés, *S. titanus* devrait rester un vecteur viable de la flavescence dorée.
- Ces projections soutiennent une poursuite des efforts de lutte engagés actuellement, ainsi que la nécessité d'approfondir les connaissances scientifiques sur *S. titanus* et *Candidatus phytoplasma vitis*.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement Christian Linder et Michel Jeanrenaud pour leurs conseils et les données fournies, ainsi que Léna Voisin et Camilla Mina pour leur relecture du manuscrit.

Bibliographie

- Beniston M., Stephenson D. B., Christensen O. B., Ferro C. A. T., Frei C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T. & Woth K., 2007. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* **81** (1), 71–95.
- Biedermann R., Achtziger R., Nickel H. & Stewart A. J., 2005. Conservation of Grassland Leafhoppers: A Brief Review. *Journal of Insect Conservation* **9** (4), 229–243.
- Bloesch B. & De Siebenthal J., 1988. La température en tant que moyen de prévision et d'avertissement dans la lutte contre les insectes. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **20** (2), 121–126.
- Bloesch B. & Viret O., 2008. Stades phénologiques repères de la vigne. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **40** (6), 4.
- Bloesch B., Viret O., Fabre A.-L. & Spring J.-L., 2009. Evolution climatique et phénologie de la vigne de 1958 à nos jours. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **41** (3), 143–149.
- Bonfils J. & Schvester D., 1960. Les cicadelles (Homoptera *Auchenorrhyncha*) dans leurs rapports avec la vigne dans le Sud-Ouest de la France. *Ann Epiphyt* **3**, 325–336
- Bressan A., Larrue J. & Padieu E. B., 2006. Patterns of phytoplasma-infected and infective *Scaphoideus titanus* leafhoppers in vineyards with high incidence of Flavescence dorée. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **119** (1), 61–69.
- Cannon R. J., 1998. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. *Global Change Biology* **4** (7), 785–796.
- Chucho J., 2010. Comportement de *Scaphoideus titanus*, conséquences spatiales et démographiques, Thèse n°1771, Université Bordeaux 2, 216p.
- Chucho J. & Thiéry D., 2014. Biology and ecology of the Flavescence dorée vector *Scaphoideus titanus*: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **34** (2), 381–403.
- Dmitry L. M., 2007. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (*Heteroptera*) to climate change. *Global Change Biology* **13** (8), 1565–1585.
- Falzoi S., Lessio F., Spanna F. & Alma A., 2014. Influence of temperature on the embryonic and post-embryonic development of *Scaphoideus titanus* (Hemiptera: *Cicadellidae*), vector of grapevine Flavescence dorée. *International Journal of Pest Management* **60** (4), 246–257.
- GIEC, 2014. Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contributions des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. *Technical report*, GIEC, Genève, Suisse.
- IRPCM, 2004. *Candidatus phytoplasma*, a taxon for the wall-less, nonhelical prokaryotes that colonize plant phloem and insect. *Int. J. System. Evol. Microbiol.* **54**, 1243–1255.
- Jaramillo J., Chabi-Olaye A., Kamonjo C., Jaramillo A., Vega F. E., Poehling H.-M. & Borgemeister C., 2009. Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *PLOS ONE* **4** (8), 1–11.
- Jaworski T. & Hilszczanski J., 2013. The effect of temperature and humidity changes on insect's development their impact on forest ecosystems in the expected climate change. *Forest Research Papers* **74** (4), 345.
- Linder C., Kehrl P., Bünler M. & Blaser S., 2019. Actualités viticoles: Le vecteur de la flavescence dorée *Scaphoideus titanus* en Suisse. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **51** (1): 60-61.
- Linder C. & Jermini M., 2007. Biologie et distribution du vecteur de la flavescence dorée dans les vignobles. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **96**, 97–101.
- Jermini M., Morisoli R., Rigamonti I. E., Girgenti P. & Mazzoni V., 2015. Fertility, longevity, oviposition dynamic and sex-ratio of *Scaphoideus titanus* Ball. In: IOBC-WPRS Conference of the Working Group on "Integrated Protection and Production in Viticulture", 20-23 October, Vienne, Autriche.

- Marshak S., 2010. *Earth, portrait of a planet*, 3ed, De Boeck, Bruxelles, 880 p.
- Masters G. J., Brown V. K., Clarke I. P., Whittaker J. B. & Hollier J. A., 1998. Direct and indirect effects of climate change on insect herbivores: *Auchenorrhyncha* (Homoptera). *Ecological Entomology* **23** (1), 45–52.
- Mazzoni V., Prěsersn J., Lucchi A. & Virant-Doberlet M., 2009. Reproductive strategy of the Nearctic leafhopper *Scaphoideus titanus* Ball (Hemiptera: Cicadellidae). *Bulletin of Entomological Research*, **99** (4), 401–413.
- Musolin D. & Saulich A., 2001. Environmental control of voltinism of the stinkbug *Graphosoma lineatum* in the forest-steppe zone (Heteroptera: Pentatomidae). *Entomologia Generalis* **25** (4), 255–264.
- OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques), 2007. Les changements climatiques et la Suisse en 2050. *Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie*. SCNAT-PROCLIM, Berne, 168 pp.
- OPV, Conseil fédéral Suisse 2010. Ordonnance sur la protection des végétaux. Adresse: <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20101847/201801010000/916.20.pdf> [20.04.18].
- Papura D., Delmotte F., Giresse X., Salar P., Danet J.-L., van Helden M., Foissac X. & Malembic-Maher S., 2009. Comparing the spatial genetic structures of the Flavescence dorée phytoplasma and its leafhopper vector *Scaphoideus titanus*. *Infect. Genet. Evol.* **9**, 867–876.
- Parmesan C. & Yohe G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**, 37.
- Perroud M. & Goyette S., 2010. Impact of warmer climate on Lake Geneva water-temperature profiles. *Boreal Environment Research*, **15**, 255–278.
- Rigamonti I. E., Jermini M., Fuog D. & Baumgartner J., 2011. Towards an improved understanding of the dynamics of vineyard-infesting *Scaphoideus titanus* leafhopper populations for better timing of management activities. *Pest Management Science* **67** (10), 1222–1229.
- Rigamonti I. E., Trivellone V., Jermini M., Fuog D. & Baumgärtner J., 2014. Multiannual infestation patterns of grapevine plant inhabiting *Scaphoideus titanus* (Hemiptera: Cicadellidae) leafhoppers. *The Canadian Entomologist* **146** (1), 67–79.
- Rigamonti I. E., Girgenti P. & Jermini M., 2017. Longevity and reproductive profile of *Scaphoideus titanus* Ball adults reared under controlled conditions. In: Proceedings of Meeting of the IOBC-WPRS Working Group "Integrated protection in viticulture", *Riva del Garda* **18-20.10.2017**, 302.
- Ruiter A., 2012. Delta-change approach for CMIP5 GCMs, <http://bibliotheek.knmi.nl/stageverslagen/traineereportRuiter.pdf> [07.08.17]
- Schaerer S., Johnston S., Gugerli P. & Linder C., 2007. Flavescence dorée in Switzerland: spread of the disease in canton of Ticino and of its insect vector, now also in cantons of Vaud and Geneva. *Bulletin of insectology* **60** (2), 375–376.
- Schaerer S. & Linder C., 2017. Flavescence dorée et son vecteur au nord des Alpes, <http://www.vitiplus.ch=document=617%20EXP%2000R%20Pr%C3%A9sentation%20Flavescence%20S.%20Sch%C3%A4rer%20et%20Ch.%20Linder.pdf> [28.02.18]
- Schaub L. & Linder C., 2007. Surveillance nationale du vecteur de la flavescence dorée en 2006. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture et Horticulture* **39** (2), 95–96.
- Schvester D., Carle P. & Moutous G., 1961. Sur la transmission de la flavescence dorée des vignes par une cicadelle. *C.R. Acad. Agric. Fr.* **47**, 1021–1024.
- Schvester D., Carle P. & Moutous G., 1969. Nouvelles données sur la transmission de la flavescence dorée de la vigne par *Scaphoideus littoralis* Ball. *Annales de zoologie et d'écologie animale* **1**, 445–465.
- Trivellone V., Filippin L., Narduzzi-Wicht B. & Angelini E., 2016. A regional-scale survey to define the known and potential vectors of grapevine yellow phytoplasmas in vineyards South of Swiss Alps. *European Journal of Plant Pathology* **145** (4), 915–927.
- Zhang W., Rudolf V. H. W. & Ma C.-S., 2015. Stage-specific heat effects: timing and duration of heat waves alter demographic rates of a global insect pest. *Oecologia*, **179**, 947-957.



Summary**Influence of climate warming on the population dynamics of *Scaphoideus titanus* in French-speaking Switzerland**

The leafhopper *Scaphoideus titanus* is the vector of Flavescence dorée of grapevine, a serious phytoplasma disease. The potential distribution of *S. titanus*, its life cycle and the possibility of a second generation have been estimated by 2050 and 2070. Two warming scenarios were chosen, namely an optimistic (RCP2,6) and a pessimistic (RCP8,5) greenhouse gas forcing from 2050 onwards. The ecological life cycle values of *S. titanus* were cross-referenced with temperature emulation using the delta method. According to these warming scenarios, its distribution should extend to the North and to high altitude, while remaining in the regions where it is already established. Hatching would be earlier and more extended. By 2070 (RCP8,5), interannual climate variability could threaten populations. Eventually, Ticino would become less and less suitable for survival. The RCP8,5 scenario would produce a hypothetical second generation.

Key words: *Scaphoideus titanus*, climate change, Flavescence dorée, bivoltine, delta method.

Zusammenfassung**Einfluss der globalen Erwärmung auf die Populationsdynamik von *Scaphoideus titanus* in der Westschweiz**

Der Blatthüpfer *Scaphoideus titanus* ist der Vektor der Goldregen bei Reben, einer schweren Phytoplasmen-erkrankung. Die potenzielle Verteilung des *S. titanus*, sein Lebenszyklus und die Möglichkeit einer zweiten Generation wurden bis 2050 und 2070 geschätzt. Es wurden zwei Erwärmungsszenarien gewählt: Reduzierung (RCP2,6) und Erhöhung (RCP8,5) der Treibhausgasemissionen ab 2050. Die ökologischen Lebenszykluswerte von *S. titanus* wurden mit der Temperaturemulation nach der Delta-Methode zusammengeführt. Gemäß den Szenarien RCP2,6 und RCP8,5 sollte sich die Verteilung nach Norden und in große Höhen erstrecken und gleichzeitig in den Regionen verbleiben, in denen sie bereits etabliert ist. Die Schlüpflinge würden früher und weiter verbreitet sein. Bis 2070 (RCP8,5) könnte eine zwischenjährige Variabilität der Wetterbedingungen das Überleben der Populationen gefährden. Schliesslich würde das Tessin immer weniger geeignet werden. Das RCP8,5-Szenario würde eine hypothetische zweite Generation ergeben.

Riassunto**Influenza del riscaldamento globale sulla dinamica demografica di *Scaphoideus titanus* nella Svizzera romanda**

La cicalina *Scaphoideus titanus* è il vettore della flavescenza dorata nella vite, una grave malattia da fitoplasma. La distribuzione potenziale di *S. titanus*, il suo ciclo di vita e la possibilità di una seconda generazione sono stati stimati tra il 2050 e il 2070. Sono stati scelti due scenari di riscaldamento: riduzione (RCP2,6) e aumento (RCP8,5) delle emissioni di gas serra a partire dal 2050. I valori del ciclo di vita ecologico di *S. titanus* sono stati incrociati con l'emulazione della temperatura secondo il metodo delta. Secondo gli scenari RCP2,6 e RCP8,5, la sua distribuzione dovrebbe estendersi a nord e in alta quota, pur rimanendo nelle regioni in cui è già insediato. La schiusura delle uova sarebbe più precoce e scalare. Entro il 2070 (RCP8,5), la variabilità interannuale delle condizioni meteorologiche potrebbe minacciare la sopravvivenza delle popolazioni. Alla fine, il Ticino diventerebbe sempre meno adatto. Lo scenario RCP8,5 permetterebbe la formazione di un'ipotetica seconda generazione.



Toutes les solutions pour l'embouteillage



Une gamme complète de machines d'emballage



ymelia
ingénierie vinicole

GESTION DES GAZ DISSOUS
CONTACTEUR MEMBRANAIRE
CO₂ de 0,5 à 10 g/L
O₂ < 300 ppb



Gérald Carrupt

WINEMAKER

Grand-Rue 31 – 1315 La Sarraz
Mobile 079 321 42 00
gerald@carrupt.com
www.carrupt.com



WINE QUALITY
SOLUTIONS
BY VIVANTIONS

GEMSTAB
VINS MAÎTRISÉS. SERVICE ASSURÉ.

Airtech
SERVICES

Audit – Consulting – Solution
Analyseurs – Electrolyse – Inertage

Costral (Suisse) SA
Chemin du Grand-Pré 26 – 1163 Etoy – www.costral.ch

Ateliers mécaniques, points de vente et conseils techniques

Aebi OEM Sàrl, Vincent AEBI, 1166 Perroy 079 222 61 55
Gigandet SA, 1853 Yvorne 024 466 13 83
Armin Keller, Oeno-Mech AG, 9524 Zuzwil 079 344 99 46

Collaborateurs

Jacques GEX, 1421 Grandevent 078 617 80 99 (technico-commercial)
Gérald CARRUPT, 1315 La Sarraz 079 321 42 00 (business développement)
Cénoconcept, Nicolas RYSER 079 434 82 30 (produits œnologiques)
Michel GUIBERT, 1163 Etoy 079 239 23 06 (filets antigrière)
Daniel FIORA, 1136 Etoy 079 210 34 25 (administration)

**Piquets de vigne
en acier galvanisé**



nouvelle gamme
en acier inox
ZIGINOX



Fabrication
suisse

www.zimmermannsa.ch



CMZimmermann SA
1268 Begnins

Un système de palissage complet et unique

depuis **Tél. 022 366 13 17**
1932 **info@zimmermannsa.ch**

Les valeurs de l'entreprise familiale, le respect du métier



Qualité, conseil, service

- . Plus de 50 ans de savoir-faire
- . Références depuis plus de 40 ans en Suisse
- . Respect strict des normes, traitement à l'eau chaude
- . Possibilité de plantation à la machine
- . Livraison assurée par nos soins
- . Capacité de réponse personnalisée en fonction de vos besoins

Rencontrons-nous :

Plus d'informations :

00 33 (0)4 79 28 54 18

www.pepinieres-viticoles-fay.fr



PLANTS DE VIGNE
Pour une viticulture moderne couronnée de succès

PÉPINIÈRES VITICOLES ANDREAS MEIER & Co.
5303 Würenlingen | T 056 297 10 00
office@rebschule-meier.ch | www.vignes.ch



Faucheuses CARONI / COMPACT **Pulvérisateurs WEBER**

Importateur - Vente - Réparation - Pièces détachées
DUVOISIN & Fils SA - machines viticoles - 1070 Puidoux
Tél. 021 946 22 21 duvoisin.puidoux@bluewin.ch

BON JOUR

Suivez votre ligne de vie, venez donner votre sang



Numéro gratuit 0800 14 65 65 | itransfusion.ch

DEPUIS 120 ANS À VOTRE SERVICE

Dupenloup SA
9, chemin des Carpières
1219 Le Lignon - GE
Tél. 022 796 77 66
contact@dupenloup.ch



MAISON FONDÉE EN 1888
DUPENLOUP SA
FABRIQUE DE POMPES
MATÉRIEL POUR L'INDUSTRIE

NOUVEAUTÉS
100% hygiénique
- Smile Inox H
- Smile A inversée



POMPES, GESTION DES TEMPÉRATURES, RACCORDS ET ACCESSOIRES INOX

Afin de mieux vous servir: Partenariat commercial et technique entre Dupenloup SA et Oeno-Pôle Sàrl




RÉCEPTION, PRESSURAGE, FLOTTATION, VINIFICATION, CONDITIONNEMENT

OENO-PÔLE Sàrl
CP 57, 1183 Bursins
Tél. 078 716 40 00
Mail: info@oeno-pole.ch
Et bien plus sur: **WWW.OENO-POLE.CH**

OENO PÔLE
Au service de la qualité

Judith Auer change d'horizon: bonne retraite à elle!

Responsable de l'AMTRA et donc de la *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* depuis 2007, Judith Auer est partie en retraite anticipée à la fin du mois d'août. Elle aura marqué de son empreinte les publications de l'AMTRA et laisse en héritage la magnifique collection *La Vigne*, dont elle a accepté d'assurer encore la publication à venir du volume 4.

Dès le début de sa carrière professionnelle, Judith a connu un lien très fort avec le site de Changins puisqu'elle y est engagée à la Station fédérale de recherches agronomiques de Changins (RAC) en 1985 dans le cadre d'un projet de recherche en lien avec la qualité de la vendange. Hasard ou pas, le millésime 1985 est d'ailleurs resté dans les annales viticoles comme une très bonne année.

Après vingt ans en tant que professeur d'œnologie pour l'autre gros institut présent sur les hauts de Nyon, soit l'Ecole d'ingénieurs de Changins, elle réintègre celle qui se dénomme dorénavant Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) comme responsable de la communication. C'est dans ce cadre-là qu'elle reprend la responsabilité des différentes publications liées aux travaux de recherche agronomique. Ceci comprend bien évidemment la *Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture* mais également d'autres publications de l'AMTRA ainsi que la *Revue suisse d'agriculture*. Cette dernière fusionnera au 1^{er} janvier 2010 avec *Agrarforschung* pour donner naissance à la nouvelle revue bilingue *Recherche Agronomique Suisse/Agrarforschung Schweiz*, dont Judith hérite également de la responsabilité.

En 2014, la concentration des stations de recherches agronomiques de la Confédération s'accroît et l'employeur de Judith s'appelle dorénavant Agroscope. Au sein du nouvel organigramme, elle est maintenant responsable du groupe «Transfert des connaissances». Dans un premier temps, cela ne change pas fondamentalement ses activités quotidiennes. Toutefois, certaines décisions stratégiques d'Agroscope, sans remettre en cause la collaboration entre les deux organisations, ne rendent plus possible, à terme, le maintien d'une imbrication de l'AMTRA dans les structures d'Agroscope.

Grâce à Walter Willener, alors président de l'AMTRA et directeur d'AGORA, une solution est trouvée pour héberger l'AMTRA dans les locaux d'AGORA à la Maison du paysan à Ouchy. Deux conventions de collaboration



sont alors signées par l'AMTRA, une avec Agroscope et l'autre avec AGORA. Ceci a pour conséquence le départ de Judith du site de Changins pour la première fois de sa carrière professionnelle. Heureusement pour cette grande amatrice de navigation à voile, le déménagement se fait en douceur, puisqu'il ne s'agit finalement que de remonter les rives du Léman sur quelques dizaines de kilomètres.

Commencée en 2016, la période oscherine de Judith est également très remplie, avec quelques surprises pas toujours agréables liées au solde de l'ancienne structure organisationnelle ainsi qu'à un marché publicitaire toujours plus tendu, mais également de très belles réalisations, dont notamment les trois premiers volumes de la collection *La Vigne*. Par ailleurs, malgré un environnement général difficile, même pour la presse spécialisée, il faut reconnaître le maintien d'une revue d'excellente qualité et mettre cela à son actif.

En lien notamment avec le départ à la retraite de son mari, Judith a décidé de prendre une retraite anticipée au 31 août de cette année. Nous la remercions par ces quelques lignes pour ses nombreuses années passées au service de l'AMTRA. Enfin, nous lui souhaitons que la santé lui permette de profiter encore longtemps de ses nombreux loisirs tels que différents sports en plein air, l'observation de la faune et le dessin, et surtout qu'elle puisse le faire avec Jean-Philippe.

Loïc Bardet (président de l'AMTRA)

Evolution des acides dans les baies et dans les moûts au cours des derniers millésimes

Marie BLACKFORD^{1,2}, Julie ROESLE-FUCHS², Markus RIENTH², Ágnes DIENES-NAGY¹, Marilyn CLEROUX², Jean-Laurent SPRING¹, Gilles BOURDIN¹ et Fabrice LORENZINI¹

¹ Agroscope, 1260 Nyon, Suisse

² Changins, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Marie Blackford, tél. +41 58 460 50 42, e-mail: marie.blackford@agroscope.admin.ch, www.agroscope.ch



Introduction

Le manque ou l'excès d'acidité est très mal perçu par le consommateur. Un vin qui manque d'acidité est souvent considéré comme lourd. A l'inverse, un vin avec trop d'acidité est jugé trop acerbe. Les qualités organoleptiques d'un vin sont fortement influencées par l'équilibre entre les acides et le sucre.

En fonction du millésime, ces équilibres peuvent être plus difficiles à atteindre. Le dérèglement climatique observé ces dernières années est un des prin-

cipaux responsables de cette problématique. Avec l'apparition d'années inhabituellement chaudes et l'augmentation progressive des températures moyennes, il apparaît indispensable de comprendre quels sont les paramètres qui influencent la composition en métabolites primaires (sucres et acides) des baies et des moûts. Le but est ensuite de pouvoir adapter la conduite des vinifications de façon appropriée et ainsi de garantir les qualités organoleptiques du vin.

L'objectif de cet article est de rappeler d'où proviennent les principaux acides du moût et de com-

prendre comment les conditions de chaque millésime influent sur ces composés. Les leviers permettant de corriger un déséquilibre entre acides, comme ceux observés lors des années chaudes, sont également exposés.

Résultats et discussion

Acides et baie de raisin

Cycle de développement de la baie

Les acides sont les constituants du vin les plus importants du point de vue quantitatif après l'eau et l'alcool (en l'absence de sucres non fermentés). Les concentrations de ces composés déterminent l'équilibre gustatif du vin final, mais aussi sa stabilité physico-chimique et biologique. Les deux acides majoritaires du raisin sont l'acide tartrique et l'acide malique. Ils représentent à eux seuls 90% des acides de la baie (Ribéreau-Gayon *et al.* 2017a). D'autres acides appelés acides secondaires, comme l'acide citrique, l'acide lactique ou l'acide succinique, sont également présents dans la baie ou formés lors de la vinification, mais en faibles concentrations; ils ne seront pas abordés dans cet article.

Le cycle de développement de la baie a été largement étudié par différentes équipes de recherche ces dernières années. Au cours de la croissance et de la maturation des raisins, plusieurs phénomènes ont simultanément lieu, comme le développement des arômes variétaux, l'accumulation de sucres ou encore la formation des acides organiques, permettant d'arriver, au moment des vendanges, avec des baies qui contiennent tous les composés destinés à produire un vin équilibré et de qualité.

La figure 1 présente le cycle de croissance et de développement de la baie de raisin du point de vue des métabolites principaux que sont les acides tartrique et malique et les sucres. Ce cycle se compose de trois parties.

La première phase de croissance (phase de croissance herbacée) est notamment due à la multiplication cellulaire et à l'élargissement vacuolaire (Ojeda *et al.* 1999). Durant cette phase, les acides organiques (acide malique, acide tartrique), les tannins, les acides phénoliques et quelques précurseurs d'arômes (méthoxy-pyrazines) sont accumulés. Durant la phase suivante, appelée plateau herbacé, la croissance de la baie s'arrête, ainsi que l'accumulation des acides et des autres composants. La transition entre le plateau herbacé et la phase de maturation est appelée véraison. Durant cette courte période, l'accumulation de sucres s'accélère et la dégradation de l'acide malique

Résumé ■ Le dérèglement climatique observé au cours des dix dernières années, caractérisé par une alternance d'années normales, généralement considérées comme plus froides, et d'années chaudes et par une augmentation régulière des températures moyennes, impacte fortement les cinétiques de développement et de maturation des baies de raisin. La composition chimique, par exemple la concentration des sucres et des acides, varie fortement en fonction des conditions climatiques. Ces variations peuvent conduire à des déséquilibres, impactant à la fois la stabilité biologique et les qualités organoleptiques des vins. Cet article présente des rappels concernant la physiologie et le développement des baies qui permettent de bien comprendre l'impact du millésime sur les équilibres acides. Ces informations sont ensuite capitales pour pouvoir adapter les pratiques de vinification et proposer des mesures de correction à la cave si nécessaire. L'objectif de cet article est de rappeler d'où proviennent les principaux acides du moût et de comprendre comment les conditions de chaque millésime influent sur ces composés. Les leviers permettant de corriger un déséquilibre entre acides sont également abordés.

est déclenchée. Durant la phase suivante, appelée maturation, la croissance de la baie continue par grossissement cellulaire. L'accumulation des sucres, la dégradation de l'acide malique, la synthèse et l'accumulation de certaines substances aromatiques (terpènes, thiols...) et des anthocyanes (pigments rouges) se poursuivent jusqu'à la maturité. L'acide tartrique n'est pas métabolisé durant la maturation et reste en quantité constante (Rösti *et al.* 2018). Sa baisse constatée lors des contrôles de maturité, en concentration par kilogramme ou par litre, est due à l'augmentation du volume de la baie par accumulation d'eau. L'acide malique diminue en quantité par baie et en concentration, car il est métabolisé.

La phase de maturation dure entre 40 et 60 jours à l'échelle d'une grappe, mais elle ne dure qu'une quinzaine de jours à l'échelle d'une baie. Cela est lié à une très grande variabilité intra-grappe due au déclenchement différé de la floraison et surtout de la

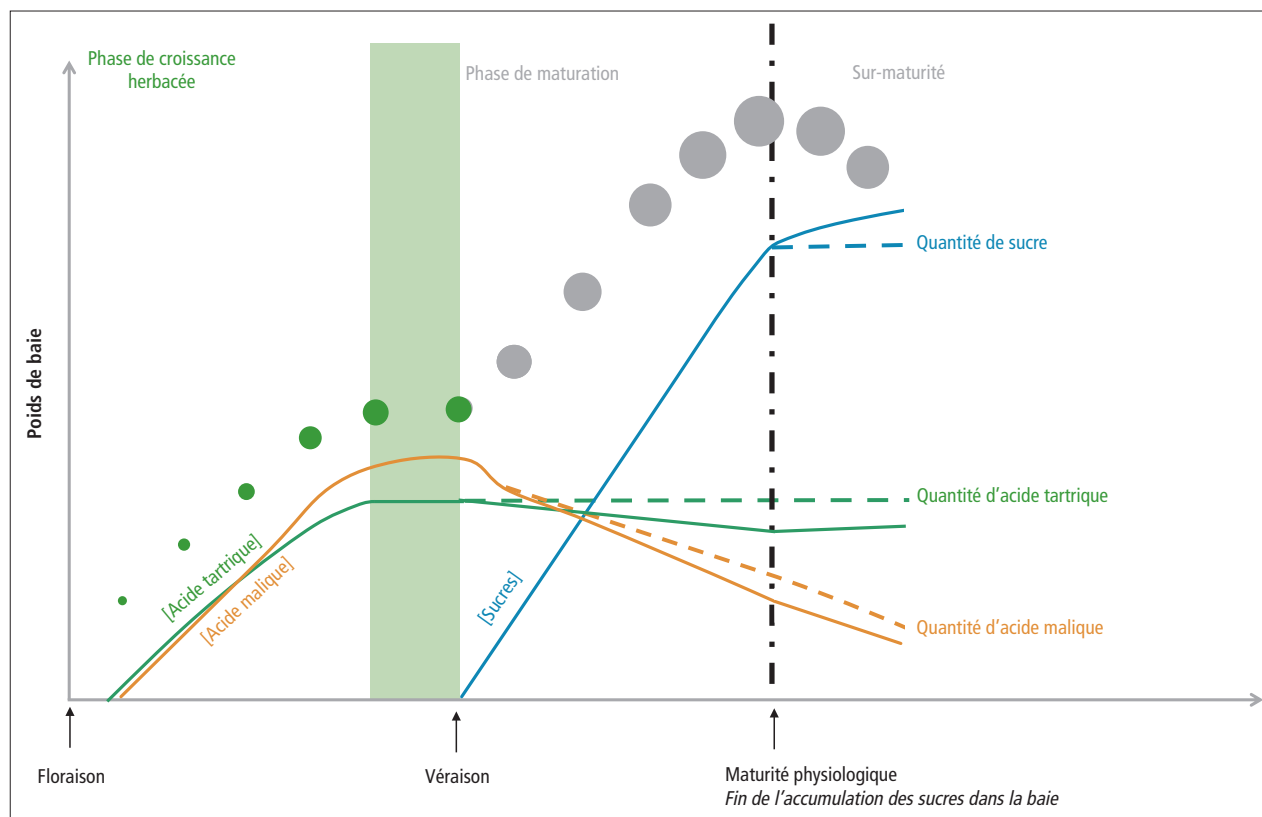


Figure 1 | Evolution théorique des teneurs en acides et sucres dans la baie, de la floraison à la vendange. Les lignes en trait plein représentent les teneurs des composés en concentration, les lignes en pointillé correspondent aux quantités (Deloire 2007).

véraison; une dynamique dont il faut être conscient lors des contrôles de maturité avant récolte (Rienth *et al.* 2016).

A la fin de maturation, le volume de la baie n'augmente plus, car le déchargement phloémien de sucre s'arrête; la quantité de sucre par baie n'augmente plus. A ce point, la baie peut être considérée comme «mûre» au niveau physiologique. Passé ce stade, la phase de sur-maturité est caractérisée par une augmentation de la concentration en sucres (°Oechsle, Brix ou densité) uniquement due à une diminution du volume de la baie, liée à sa déshydratation. Cela entraîne également une augmentation de la concentration des tous les autres composants.

Impact du dérèglement climatique

Les conditions climatiques, notamment la température, influencent fortement les stades phénologiques de la vigne (débourrement, floraison, véraison). Au vu du dérèglement climatique observé depuis 1985, on remarque un important décalage de la phénologie de la vigne. La véraison initialement constatée à la mi-août dans une année «classique» s'avère plus précoce, parfois à fin juillet. En 2015 ou en 2018, par exemple,

la véraison du Chasselas à Pully (Lavaux) s'est déroulée le 30 juillet, selon les données Agrométéo (Spring *et al.* 2009; Viret *et al.* 2015).

Lorsque la véraison est précoce, cela avance la phase de maturation de la baie vers des périodes plus chaudes. Les températures plus élevées pendant cette phase modifient les cinétiques d'accumulation des sucres et accélèrent la dégradation de l'acide malique. En effet, il a été montré que la diminution de l'acide malique est fortement corrélée à des températures élevées pendant la maturation (Etienne *et al.* 2013).

Certains composés aromatiques de la baie se développent lors de la phase de maturation. Si celle-ci est modifiée, notamment accélérée, on observe une perte de typicité et d'expression du terroir, ainsi que des problèmes de stabilité microbiologique (Van Leeuwen et Destrac-Irvine 2017).

Evolution des acides à la maturité en fonction du millésime

Les rapports acides/sucres et les équilibres malique/tartrique sont des paramètres importants de la qualité et de la stabilité des vins. Ils sont donc de bons indicateurs pour évaluer la maturité du raisin. Ils sont d'ail-

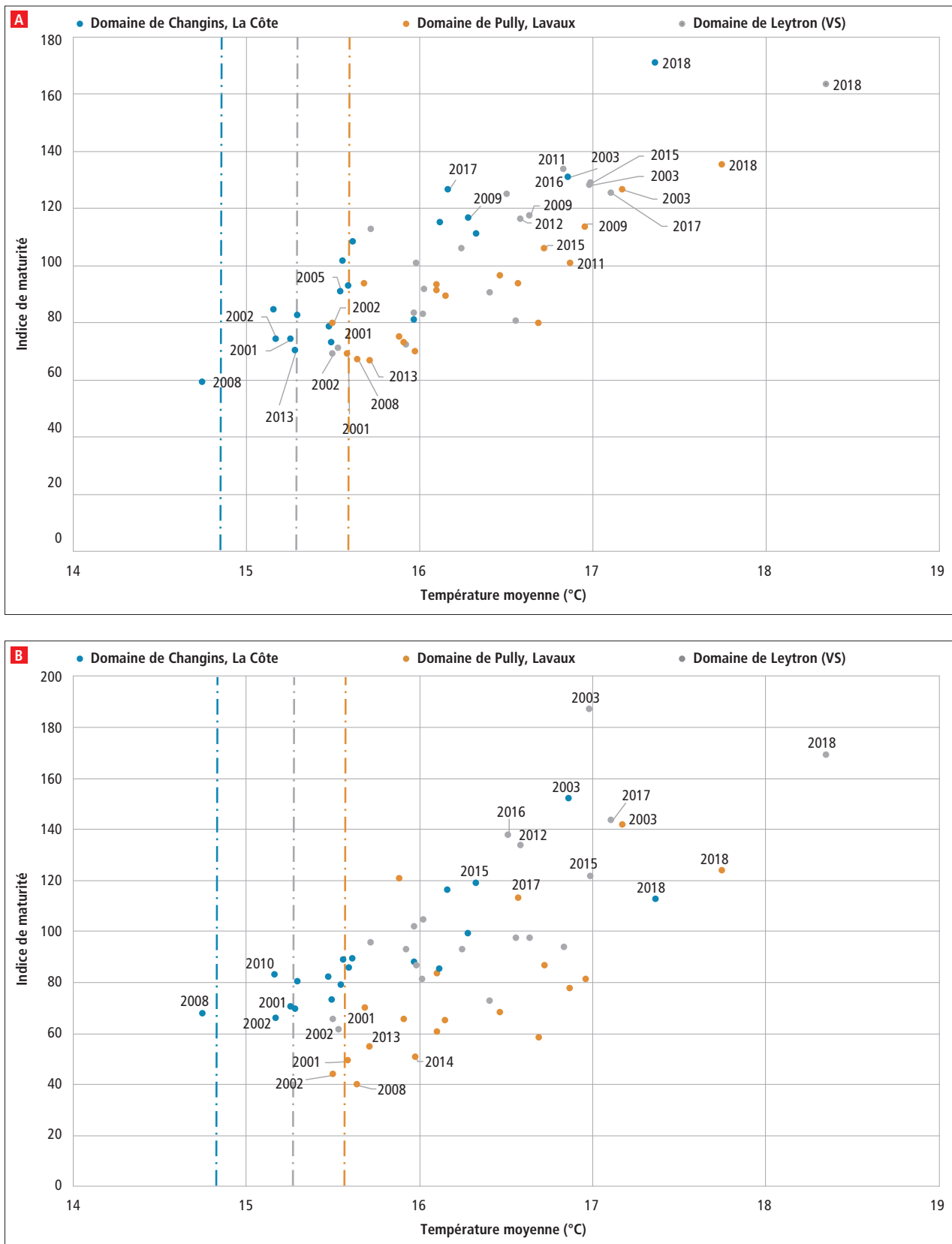


Figure 2 | Indice de maturité du Chasselas (A) et du Pinot noir (B), calculé à la vendange en fonction de la température moyenne.

La température moyenne est calculée pour la période de végétation de la vigne (avril-octobre). Les lignes en pointillé montrent la température moyenne pour chacun des domaines pour la même période selon la norme 1981-2010 (données Agrométéo, www.agrometeo.ch, et Stations météorologiques de Changins, Pully et Sion, www.meteosuisse.ch).

leurs pris en compte dans le calcul d'indices de maturité (IM), comme celui proposé par Simon *et al.* (1977), le plus utilisé en Suisse:

$$IM = \frac{Ind.Refr. \times 10}{Acidité\ totale}$$

Cet indice prend en compte la concentration de sucre (Ind. refr. en °Oechsle) et l'acidité totale, exprimée en g/L d'acide tartrique.

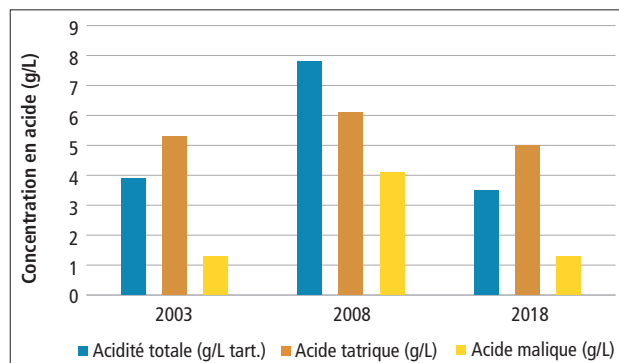


Figure 3 | Concentration de l'acidité totale, acide malique et acide tartrique, sur le Chasselas du Domaine de Changins, La Côte.

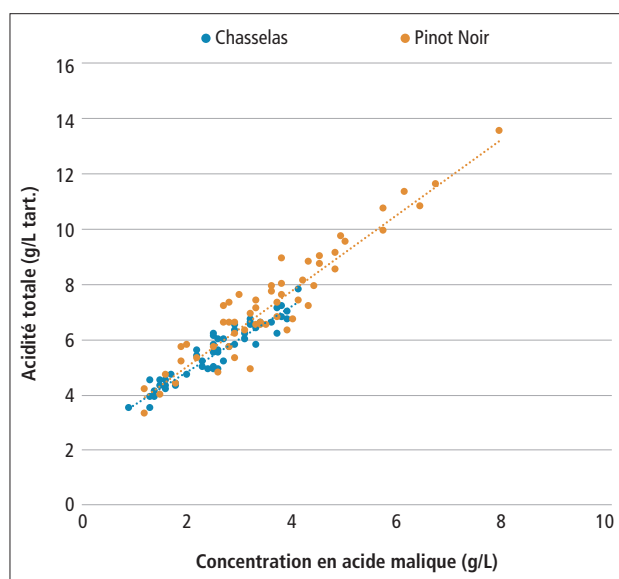


Figure 4 | Corrélation entre l'acidité totale et l'acide malique pour le Chasselas et le Pinot noir. Données provenant de trois domaines (Pully, Changins et Leytron) pour les millésimes de 2000 à 2018.

Tableau 1 | Valeur du rapport Ac. Malique / Ac. Tartrique en fonction du millésime pour Chasselas et Pinot noir du Domaine de Changins, La Côte.

Changins	Chasselas	Pinot noir
2003	0,25	0,28
2008	0,67	0,75
2018	0,26	0,33

De manière générale, au cours des vingt dernières années, l'indice de maturité a fortement augmenté, ce qui a été relativement favorable pour la qualité des vins suisses. Cela peut être en partie attribué aux pratiques culturales qui permettent de mieux maîtriser la maturité des raisins, mais également et surtout au réchauffement climatique (Zufferey *et al.* 2019).

En se focalisant sur la période 2000-2018, on observe que les indices de maturité pour le Chasselas et le Pinot noir de différents terroirs sont positivement corrélés avec les températures moyennes (fig. 2). Cette période se compose d'années particulièrement chaudes (2003 ou 2018) et d'années moins chaudes comme 2008 ou 2010. Cet indice donne une bonne idée sur la relation acides/sucres dans le moût et permet de classer un millésime en fonction des conditions climatiques. Toutefois, il ne renseigne pas sur la contribution des différents acides sur l'acidité totale, ce qui peut être intéressant d'un point de vue physiologique et oenologique.

Dans cette partie, nous avons choisi de nous focaliser sur les deux acides principaux (acide malique et acide tartrique) pour le Chasselas du Domaine de Changins (La Côte). D'après la figure 3, les valeurs d'acidité totale pour des années particulièrement chaudes (2003 et 2018) sont plus basses que celles des millésimes plus froids (2008 à titre d'exemple).

Quel que soit le millésime considéré, la quantité d'acide tartrique à la vendange reste assez stable (4-6 g/L) (fig. 3). La légère variation observée peut s'expliquer par le fait que les acides sont exprimés en concentration (g/L), aussi la variation du volume de la baie est-elle certainement responsable de cette différence. Néanmoins, cela montre déjà que l'acide tartrique n'est pas métabolisé au cours de la maturation de la baie et confirme les résultats observés dans les études précédentes (Rösti *et al.* 2018). La baisse d'acidité totale peut donc être expliquée par la baisse d'acide malique (jusqu'à quatre fois plus faible pour une année chaude), ce qui illustre l'impact de la température sur sa dégradation. La figure 4 met en évidence la corrélation entre l'acidité totale et la concentration en acide malique aussi bien pour le cépage Chasselas que pour le Pinot noir.

Pour pouvoir comparer plus en détail l'évolution de différents acides au cours du mûrissement, les quantités d'acides malique et tartrique ont été mises en relation avec la concentration en sucres (°Oechsle) (fig. 5). Cela permet de suivre l'évolution des acides organiques au cours de la maturation indépendamment de la date (jour du calendrier) et du volume de la baie. Le sucre est alors utilisé comme «horloge interne» de la baie et comme marqueur de l'avancement de la maturité.

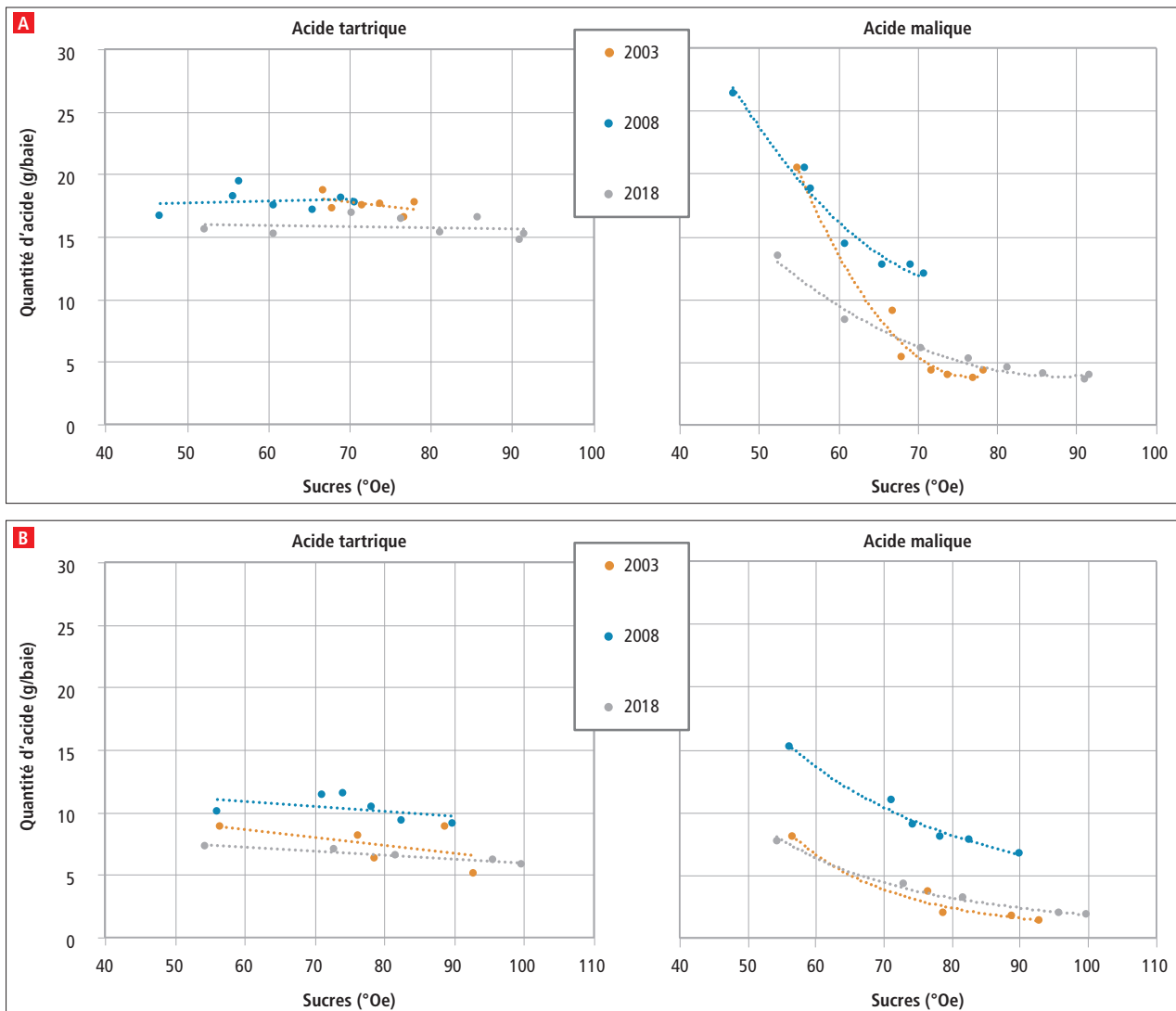


Figure 5 | Evolutions de la quantité d'acide malique et d'acide tartrique en fonction de la concentration en sucres (°Oechsle) pendant la maturation du Chasselas (A) et du Pinot noir (B) du Domaine de Changins, La Côte.

La figure 5a, qui présente les données pour le Chasselas du Domaine de Changins, montre bien que la quantité d'acide tartrique reste stable pendant l'accumulation et la concentration des sucres dans la baie, quelles que soient les conditions climatiques du millésime. A l'inverse, la quantité d'acide malique diminue, et ce plus ou moins rapidement selon le millésime. Il est intéressant de remarquer que la quantité d'acide malique pour une concentration en sucres donnée est beaucoup plus élevée dans des années plus froides comme 2008 qu'en années chaudes (2003, 2018). Pour des températures basses, la respiration d'acide malique est moins importante. Cela pourrait être expliqué par un meilleur équilibre énergétique de la vigne dû à une respiration cellulaire réduite et à un besoin énergétique de la baie moins important. Par conséquent,

l'acide malique a moins besoin d'être utilisé comme une source d'énergie (Rienth *et al.* 2016). L'évolution de ces deux acides pour le cépage Pinot noir du même domaine est similaire (fig. 5). Toutefois, la diminution de l'acide malique est moins rapide. Pour ce cépage, les cinétiques de diminution des années 2003 et 2018 sont très proches.

La quantité d'acide malique joue donc un rôle prépondérant dans l'équilibre des acides des moûts. Une façon pratique d'évaluer cet équilibre est de calculer le ratio entre l'acide malique et l'acide tartrique, paramètre indépendant du volume de la baie (facteur de dilution/concentration). Ce ratio est plus élevé dans une année froide comme 2008 (autour de 0,7) qu'en année chaude comme 2003 et 2018 (autour de 0,3) (tabl. 1).

En année chaude, quels leviers utiliser en Suisse pour conserver un équilibre dans le vin?

Les acides font partie des constituants majeurs du vin. Leurs rôles sont divers (stabilisation microbiologique, équilibre gustatif, etc.) et ils sont indispensables pour garantir la qualité des vins. Lors d'années plus froides, où les acidités sont parfois trop marquées, différentes pratiques de désacidification peuvent être employées. Il s'agit de techniques connues et habituellement utilisées en Suisse. A l'inverse, lors des années chaudes, lorsque des acidités trop basses sont principalement observées, d'autres méthodes doivent être envisagées.

Leviers viticoles

Les leviers viticoles permettant d'augmenter le ratio acide malique/acide tartrique sont nombreux, mais ils doivent être maîtrisés. Ils peuvent en effet conduire à une diminution des concentrations en sucres et en divers composants comme les précurseurs aromatiques et les polyphénols dans la baie. Ils sont donc à appliquer avec prudence et uniquement sur des cépages et terroirs précoces dans des millésimes particulièrement chauds. D'une manière générale, toutes les mesures viticoles qui retardent la phénologie de la vigne et entraînent une maturité plus tardive mènent à un ratio acide malique/acide tartrique plus élevé à la récolte.

Dans certaines régions viticoles méditerranéennes et dans des pays comme l'Australie et l'Afrique du Sud, la problématique des teneurs en alcool trop élevées et des acidités basses est connue depuis longtemps et beaucoup de travaux de recherche ont été entrepris par des centres de recherche viticole sur la possibilité de retarder la maturation. Parmi les mesures étudiées, celles qui ont montré des résultats intéressants sont: la réduction de la surface foliaire exposée (SFE/kg), l'effeuillage sévère et précoce, le cisailage important pour limiter la haie foliaire (Pallioti *et al.* 2011) et l'application d'antitranspirants pour limiter la photosynthèse (Intrieri *et al.* 2013).

Enfin, un levier plus fondamental, mais qui peut être très efficace et plus durable sur le long terme, est la plantation de clones plus tardifs ou encore des porte-greffes plus vigoureux, qui rallongent le cycle végétatif de la vigne et retardent le mûrissement (Spring *et al.* 2012; Spring *et al.* 2013; Ollat *et al.* 2016; Spring *et al.* 2016). L'effet est d'ailleurs significatif sur les quantités d'acide malique retrouvées dans les baies à la vendange.

Leviers œnologiques

L'action de correction de l'acidité peut aussi être menée à la cave. Les leviers œnologiques d'acidification sont

encore peu utilisés en Suisse, il s'agit pourtant d'une solution parfois nécessaire pour rééquilibrer les vins en années chaudes.

La principale technique employée est l'acidification. La législation suisse autorise l'utilisation de trois acides dans les moûts et vins; l'acide L-tartrique, l'acide D-L malique et l'acide lactique. La limite légale est fixée à 1,5 g/L en moût et 2,5 g/L dans les vins, pour une dose maximale fixée à 4 g/L exprimé en acide tartrique (Ordonnance du DFI sur les boissons).

Chacun de ces acides a ses propres propriétés et confère de ce fait un caractère différent au moût ou au vin traité (pouvoir acidifiant et impact organoleptique). L'objectif de l'acidification peut être différent d'un vin à l'autre: la diminution précoce du pH pour une meilleure stabilité microbiologique (limiter le développement des lactobacilles) et ainsi favoriser un bon déroulement de la vinification; la correction précoce de l'acidité pour remédier à une insuffisance d'acidité naturelle; ou la correction de l'acidité sur vin fini pour l'équilibrer du point de vue organoleptique. Selon l'objectif, on peut pratiquer cette correction sur moût, en cours de fermentation, en élevage ou avant la mise en bouteilles (Ribéreau-Gayon *et al.* 2017b).

L'acide tartrique, l'acide le plus efficace sur le pH, est préconisé pour le traitement des moûts. C'est l'acide actuellement le plus utilisé pour l'acidification. Les conditions d'emploi sont basées sur les doses légales. La théorie établit que 1 g/L d'acide tartrique ajouté relèverait l'acidité totale de 1 g/L, mais les rendements réels sont plus fluctuants. Les doses d'emploi doivent être calculées sur la base de l'acidité totale et du pH initial du moût.

Néanmoins, l'acide tartrique peut, dans certains cas de forte présence de potassium, générer une précipitation de bitartrate de potassium. Cela produit alors l'effet inverse, soit une désacidification de moût ou du vin. D'une part, l'équilibre entre l'acide tartrique et son sel est fonction du pH. D'autre part, la solubilité du bitartrate de potassium diminue avec l'augmentation de la teneur en alcool. De ce fait, on peut envisager un «tartrage» sur moût ou en début de fermentation, pour éviter une précipitation de sels trop importante.

L'acidification par acide tartrique apporte, selon la littérature, de la vivacité au vin (Vivas et Bertrand 2000). Toutefois, utilisée à forts dosages, elle est responsable de saveurs acerbes et astringentes. Plus l'ajout est précoce, sur moût, plus l'incidence organoleptique est fondue, mais moins le réajustement d'acidité est précis. En revanche, l'ajouter sur vin, qui s'avère être plus efficace, risque de durcir les vins. Il faut donc trouver un compromis et bien cibler l'intérêt de ce tartrage.

Pour la baisse des pH comme technique de gestion des instabilités microbiennes éventuelles, la précision de l'augmentation de l'acidité n'est pas fondamentale. Il y a donc tout intérêt à l'ajouter le plus rapidement possible (après débouillage pour les blancs, au premier remontage pour les rouges).

L'acide malique peut aussi être utilisé pour l'abaissement du pH. Il faut environ 1 g/L d'acide malique pour relever l'acidité de 1,1 g/L (exprimée en acide tartrique). Certains praticiens emploient cet acide sur moût seul ou en combinaison avec l'acide tartrique. Toutefois, il est nécessaire d'adapter son itinéraire de vinification, en particulier par rapport à la fermentation malolactique.

Un point important à relever est que le ratio acide malique/acide tartrique a toute son importance dans la prise de décision d'acidification dans les années chaudes. En 2018 par exemple, le déséquilibre entre ces deux acides et une très forte concentration en potassium a montré qu'une acidification par l'acide tartrique en moût n'était pas forcément pertinente, car l'ensemble du tartrique ajouté pouvait précipiter avec le potassium; l'impact sur l'abaissement du pH aurait donc été limité, voire contre-productif. Il faut donc impérativement avoir des détails sur l'équilibre entre ces deux acides et leur concentration pour une efficacité de l'acidification précoce.

L'acide lactique est un acide plus faible, mais son avantage est que ses sels de potassium ou de calcium sont plus solubles que pour l'acide tartrique; il y a donc moins de risques de précipitation. Une quantité de 1 g d'acide lactique permet de relever l'acidité de 0,8 g/L (exprimée en acide tartrique). On l'utilise majoritairement pour le rééquilibrage d'un vin fini.

L'acide citrique n'est pas autorisé dans un but d'acidification. Il peut être utilisé sur vin pour la stabilisation, en particulier pour éviter à la casse ferrique.

Outre les ajouts de différents acides, l'émergence de nouvelles techniques ont également pour objectif de garantir l'équilibre acide des moûts et des vins. C'est le cas notamment de la technique membranaire d'électrodialyse. L'abaissement du pH se fait alors par extraction sélective du potassium (K⁺) et enrichissement en ions hydrogène (H⁺). Ce traitement n'utilise pas d'intrants chimiques et le transfert d'ions se fait grâce à un champ électrique. Cette méthode n'est pas autorisée en filière bio et représente un coût non négligeable. Enfin, d'autres techniques cherchent à maîtriser les fermentations avec des levures ou bactéries acidifiantes (exemple: IOC IONYS SW) (Dequin *et al.* 1999; Lucio *et al.* 2016), par co-inoculation ou en choisissant de ne pas faire la

fermentation malolactique pour préserver l'acidité restante.

Toutes ces stratégies permettent de traiter un déséquilibre acide qui apparaît lors des millésimes chauds. Chacune d'elles modifie l'acidité du vin final de façon plus ou moins marquée. Elles sont donc à mettre en relation avec le vin souhaité par le vigneron pour pouvoir choisir la solution à la fois en termes de protection du vin et de qualité organoleptique.

Conclusion

- La composition de la baie et du moût est largement influencée par les conditions climatiques;
- Les équilibres entre sucres et acides sont donc très dépendants du millésime;
- Une plus grande connaissance de la composition des baies en acides (tartrique et malique) par l'adaptation des techniques de suivi de maturité permet d'adapter les pratiques de vinification en fonction du millésime et de ses conditions;
- Le recours à une acidification lors d'années chaudes peut permettre de garantir un maintien des qualités organoleptiques du vin;
- Le choix d'utiliser telle ou telle technique viticole et/ou œnologique doit être raisonné et dépend du millésime et du type de vin final désiré. ■

Bibliographie

- Deloire A., 2007. Le Raisin, Fiche N°7: Métabolismes primaires: les acides organiques. Montpellier Sup Agro, 6.
- Dequin S., Baptista E. & Barre P., 1999. Acidification of Grape Musts by *Saccharomyces cerevisiae* Wine Yeast Strains Genetically Engineered to Produce Lactic Acid. *American Journal of Enology and Viticulture* 50 (1), 45-50.
- Etienne A., Genard M., Lobit P., Mbeguie-A-Mbeguie D. & Bugaud C., 2013. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany* 64 (6), 1451-1469.
- Intrieri C., Allegro G., Valentini G., Pastore C., Colucci E. & Filippetti I., 2013. Effect of pre-bloom anti-transpirant treatments and leaf removal on «Sangiovese» (*Vitis vinifera*) winegrapes *Vitis* 53 (3).
- Lucio O., Pardo I., Krieger-Weber S., Heras J. M. & Ferrer S., 2016. Selection of *Lactobacillus* strains to induce biological acidification in low acidity wines. *LWT* 73, 334-341.
- Ojeda H., Deloire A., Carbonneau A., Ageorges A. & Romieu C., 1999. Berry development of grapevines: Relations between the growth of berries and their DNA content indicate cell multiplication and enlargement. *Vitis* 38, 145-150.
- Ollat N., Peccoux A., Papura D., Esmenjaud D., Marguerit E., Tandonnet J., Bordenave L., Cookson S., Barrieu F., Rossedeutsch L., Lecourt J., Lauvergeat V., Vivin P., Bert P. & Delrot S., 2016. Rootstocks as a component of adaptation to environment. In: *Grapevine in a Changing Environment*. (Ed. H. Gerós M. M. C., H. M. Gil and S. Delrot).

- Palliotti A., Gatti M. & Poni S., 2011. Early Leaf Removal to Improve Vineyard Efficiency: Gas Exchange, Source-to-Sink Balance, and Reserve Storage Responses. *American journal of Enology and Viticulture* **62** (2), 219-228.
- Ribéreau-Gayon P., Dubourdieu D., Donèche B. & Lonvaud A., 2017a. Traité d'œnologie: Microbiologie du vin, Vinifications. 1, 7, Dunod.
- Ribéreau-Gayon P., Dubourdieu D., Glories Y. & Maujean A., 2017b. Traité d'œnologie: chimie du vin, stabilisation et traitements. 2, 7, Dunod.
- Rienth M., Torregrosa L., Sarah G., Ardisson M., Brillouet J.-M. & Romieu C., 2016. Temperature desynchronizes sugar and organic acid metabolism in ripening grapevine fruits and remodels their transcriptome. *BMC Plant Biology* **16** (1), 164.
- Rösti J., Schumann M., Cleroux M., Lorenzini F., Zufferey V. & Rienth M., 2018. Effect of drying on tartaric acid and malic acid in Shiraz and Merlot berries. *Aust J Grape Wine Res* **24** (4), 421-429.
- Simon J.-L., Schwarzenbach J., Mischler M., Eggenberger W. & Koblet W., 1977. Payot, 195 S.
- Spring J.-L., Viret O. & Bloesch B., 2009. Phénologie de la vigne: 84 ans d'observation du Chasselas dans le bassin lémanique. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **41** (3), 151-155.
- Spring J.-L., Ferretti M., Zufferey V., Verdenal T. & Viret O., 2013. Influence du porte-greffe sur le comportement du cépage Gamaret dans le vignoble tessinois. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **45** (3), 158-163.
- Spring J.-L., Zufferey V., Verdenal T. & Viret O., 2016. Influence du porte-greffe sur le comportement du Pinot noir dans les conditions du Valais central. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **48** (2), 112-122.
- Spring J.-L., Verdenal T., Zufferey V., Gindro K. & Viret O., 2012. Influence du porte-greffe sur le comportement du cépage Cornalin du Valais central. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **44** (5), 298-307.
- Van Leeuwen C. & Destrac-Irvine A., 2017. Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One* **51** (2).
- Viret O., Spring J.-L. & Zufferey V., 2015. 2015, le millésime du siècle? *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **47** (6), 384-388.
- Vivas N. & Bertrand A., 2000. Produits de traitement et auxiliaires d'élaboration des moûts et des vins. Féret.
- Zufferey V., Verdenal T., Koestel C., Rösti J., Dienes-Nagy Á., Belcher S., Lorenzini F., Spangenberg J., Viret O. & Spring J.-L., 2019. Influence de la date de vendange sur la qualité des raisins et des vins de Chasselas en Dézaley. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* **51** (2), 100-111.

Summary**Acid Development in Grapes and Grape Must in Recent Vintages**

The kinetics of grape development and ripening are strongly influenced by the changes in climate that we have witnessed over the past ten years, viz., the alternation of colder and particularly hot years and a regular increase in the average temperature. Chemical composition such as e.g. sugar and acid concentration varies greatly as a function of climatic conditions. These variations can lead to imbalances which affect both biological stability and the organoleptic characteristics of the wines produced. This article describes grape physiology and development, thereby contributing to an improved understanding of the influence of vintage on acid balance. This information is crucial for adapting winemaking practices and suggesting any necessary corrective measures to the wine cellar. The aim of this article is to point out the source of the main acids in the must, and to determine how the conditions of the individual vintages influence composition. In addition, methods for correcting imbalances between acids are highlighted.

Key words: Grape maturity, grape acids, must acidity, climate change

Zusammenfassung**Säureentwicklung in Weintrauben und im Traubenmost in den vergangenen Jahrgängen**

Die in den letzten zehn Jahren beobachtete Klimaveränderung, die durch besonders tiefe oder besonders hohe Temperaturen sowie durch einen Anstieg der Durchschnittstemperatur gekennzeichnet ist, hat einen starken Einfluss auf die Entwicklungs- und Reifungskinetik der Weintrauben. Die chemische Zusammensetzung wie z.B. der Zucker- und Säuregehalt kann stark variieren je nach klimatischen Bedingungen. Diese Schwankungen führen zu Ungleichgewichten, die sowohl die biologische Stabilität als auch die organoleptischen Eigenschaften der produzierten Weine beeinflussen. Dieser Artikel beschreibt die Physiologie und Entwicklung der Weintrauben und trägt somit zum besseren Verständnis des Einflusses des Jahrgangs auf den Säurehaushalt bei. Diese Informationen sind zentral, um die Weinbereitungspraktiken anpassen und gegebenenfalls Massnahmen für den Weinkeller vorschlagen zu können. Der Beitrag soll aufzeigen, woher die wichtigsten Säuren im Most stammen und wie die Bedingungen der einzelnen Jahrgänge die Zusammensetzung beeinflussen. Zudem werden Möglichkeiten zur Korrektur dieses Ungleichgewichts aufgezeigt.

Riassunto**Evoluzione degli acidi negli acini e nei mosti nelle ultime annate**

Il cambiamento climatico osservato negli ultimi dieci anni, caratterizzato da un'alternanza di anni considerati più freddi e anni particolarmente caldi nonché da un costante innalzamento delle temperature medie, ha un forte impatto sulla cinetica di sviluppo e di maturazione degli acini d'uva. La composizione chimica, ad esempio la concentrazione di zuccheri e acidi, varia considerevolmente in funzione delle condizioni climatiche. Queste variazioni possono causare scompensi che pregiudicano sia la stabilità biologica, sia le caratteristiche organoleptiche dei vini. Questo articolo presenta spunti interessanti concernenti la fisiologia e lo sviluppo degli acini che consentono di comprendere l'impatto dell'annata sugli equilibri acidi. Queste informazioni sono inoltre fondamentali per poter adeguare le pratiche di vinificazione e per proporre misure correttive nelle cantine se necessario. L'obiettivo di questo articolo è ricordare da dove provengono i principali acidi del mosto e capire come le condizioni di ogni annata possono influenzarli. Vengono inoltre trattati i metodi che permettono di correggere gli scompensi tra gli acidi.

Pulvérisateurs de type gun et canon: étude de littérature sur leur utilisation et les risques spécifiques

Pierre-Henri DUBUIS, Vinciane MONOD et Katia GINDRO

Agroscope Changins, route de Duiller 50, Case postale 1012, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Pierre-Henri Dubuis, tél. +41 58 460 43 52, e-mail pierre-henri.dubuis@agroscope.admin.ch, www.agroscope.admin.ch



Traitement au gun dans des vignes en terrasses. (Photo Dubuis PH, Agroscope)

Introduction

Dans le cadre du Plan d'action national (PAN) visant la réduction des risques liés aux produits phytosanitaires, Agroscope a réalisé une étude de littérature et une enquête auprès des cantons et organisations professionnelles au sujet de l'utilisation et des risques de dérive des appareils de type gun et canon. Le gun est une lance à haute pression et les volumes de bouillie utilisés sont importants (jusqu'à près de 2000 l/ha). Le canon est un pulvérisateur monté sur véhicule, composé d'une turbine et généralement de buses injectant le liquide

dans le flux d'air. Ces pulvérisateurs de longue portée, utilisés principalement en viticulture en pente et en arboriculture haute-tige, engendrent une dérive plus importante que les pulvérisateurs conventionnels. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'importance et le type d'utilisation ainsi que les risques de dérive liés à ces appareils. D'une manière générale, très peu d'informations concernant ces deux types de pulvérisateurs sont disponibles dans la littérature. L'étude résumée dans cet article doit servir de base à la mise en œuvre de nouvelles instructions propres à ces pulvérisateurs afin de réduire les émissions sur les zones non ciblées.

Matériel et méthodes

Description des pulvérisateurs étudiés

Les appareils de type gun et canon (fig. 1) sont des appareils de traitements phytosanitaires de longue portée. Le gun est une lance à haute pression dont les gouttelettes sont formées et projetées par la pression exercée sur le liquide, qui passe par une buse d'une dimension variable. Le traitement avec le gun s'effectue à la main. L'opérateur traite depuis le bord de la parcelle ou se déplace dans celle-ci en fonction du nombre de rangs traités simultanément. Il permet un traitement sur des distances variables entre 3 et 12 mètres.

Le canon est un pulvérisateur monté sur véhicule, composé d'une turbine et généralement de buses injectant le liquide dans le flux d'air. L'opérateur dirige le canon depuis la cabine du véhicule et les traitements sont effectués depuis une route ou un chemin en bordure de parcelle. Il permet de traiter sur des distances comprises entre 15 et 50m selon le type d'appareil. Il existe des systèmes pneumatiques et des systèmes à buses. Les guns et canons sont habituellement utilisés sur des terrains escarpés et difficiles d'accès.

Méthode de collecte de données

Une enquête auprès des offices cantonaux et organisations professionnelles ayant des surfaces en arboriculture fruitière ou viticulture a été menée dans le but d'évaluer l'utilisation de ces deux types de pulvérisateur en agriculture suisse. Parallèlement, une étude de la littérature disponible a été réalisée.

Résultats et discussion

L'utilisation du gun et du canon diffère fortement (fig. 2). Les surfaces traitées avec ces appareils ne sont

Résumé Cette étude de la littérature a pour but d'évaluer l'utilisation de pulvérisateurs de type gun et canon, ainsi que les risques qui y sont liés. Les guns sont utilisés dans presque toutes les régions arboricoles et viticoles de Suisse, avec environ 6400 ha concernés d'après les estimations, principalement sur des arbres haute-tige et des vignobles en pente. Les canons concernent des surfaces beaucoup plus restreintes (> 500 ha), principalement en viticulture en pente. La dérive occasionnée par les appareils de type gun et canon est plus élevée que pour d'autres moyens de traitement et est fortement influencée par les conditions environnementales. Différentes recommandations sont formulées. Pour les deux appareils, un module de formation continue pour les opérateurs pourrait être développée spécifiquement. Des mesures telles que le traitement uniquement en direction de l'intérieur en bordure de parcelle et à proximité des zones à protéger pourraient aussi être mises en place. En ce qui concerne le canon, des réglages techniques permettent de limiter la dérive en réduisant le volume de soufflerie de l'appareil et en installant des buses à injection d'air antidérive. Pour le gun, des améliorations de la protection de l'opérateur sont impératives.



Figure 1 | A gauche, pulvérisateur de type lance à haute pression (gun). A droite, canon longue portée monté sur véhicule (canon).
Photos: Dubuis PH, Agroscope (gun); Siegfried W, Agroscope (canon)



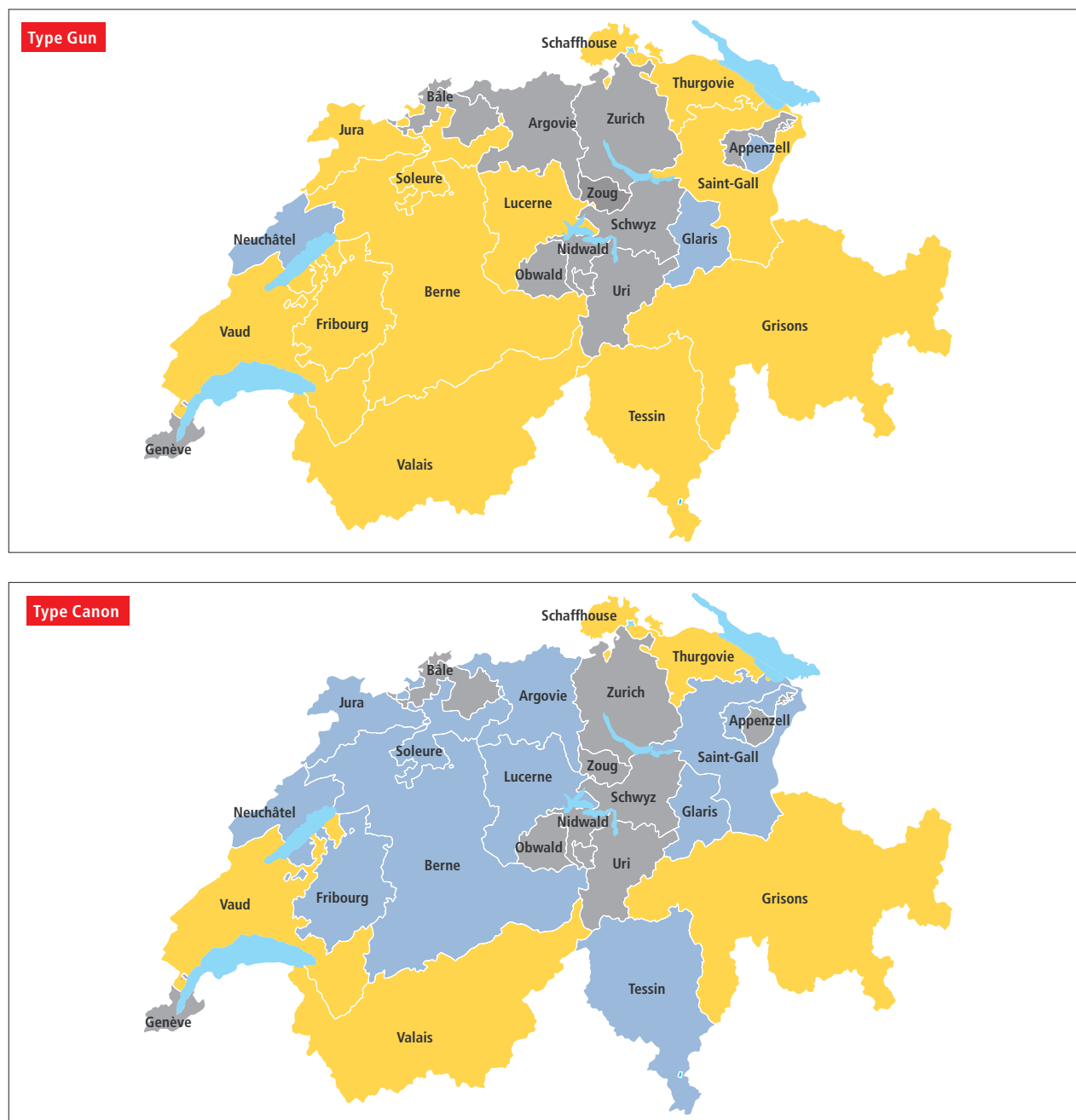


Figure 2 | En jaune, cantons concernés par l'utilisation du gun et de canons. En bleu, ceux qui ne l'utilisent pas et en gris, sans information.

en effet pas du tout similaires. Les estimations obtenues grâce à l'enquête menée donnent environ 6400 ha traités au gun et moins de 500 ha traités au canon. Le gun est utilisé dans une grande partie de la Suisse, alors que le canon est plus limité géographiquement. Les cultures traitées sont assez similaires. Il s'agit majoritairement d'arbres haute-tige et de vignobles en pente. Quelques autres cultures sont aussi traitées avec ce type d'appareils, mais elles sont très restreintes. Par

exemple, pour le gun: broussailles sur pâture (Jura), culture de petits fruits (Vaud). Et pour le canon: pépinières, cultures d'abricotier en coteaux (Valais). Les surfaces d'arbres haute-tige traitées avec le gun sont relativement importantes (4550 ha), mais correspondent à des estimations à partir du nombre d'arbres et à la surface occupée par arbre estimée à 100m² (distance de plantation de 10x10m). Ces surfaces sont par ailleurs très peu traitées (1-2 traitements par an) et donc peu

comparables à des surfaces viticoles (1850 ha) traitées de manière intensive (7-8 traitements par an).

A ce jour, peu d'études, mesures ou modèles sont disponibles quant à la dérive occasionnée par ces appareils. Historiquement, les guns ont été beaucoup utilisés notamment en Valais et pour les arbres haute-tige. Ils sont aussi utilisés en Allemagne, en Moselle (F) et au Portugal, dans le Douro. Cependant, peu d'études sur la dérive ont été menées, car celle-ci dépend beaucoup de l'utilisateur (pas de vitesse d'avancement fixe ni de volume de bouillie bien défini). Il est donc difficile de calibrer et de répéter des mesures. La dérive produite par les canons a été quant à elle un peu plus étudiée.

Dans les études consultées, les deux types de pulvérisateurs obtiennent de mauvais résultats en comparaison avec des appareils conventionnels tels que turbo-diffuseur, pulvérisateur à panneaux récupérateurs ou atomiseur à dos (Viret *et al.* 2003). Lüders et Ganzelmeier (1983) et Ganzelmeier (1982) comparent la dérive occasionnée par plusieurs appareils de traitement sur des cultures de vignes en terrasses en pleine floraison (stade 21-25 d'Eichhorn et Lorenz) dans le Bade-Wurtemberg. Un appareil de type gun qui traite sur une distance de 2 m à une pression de 22 bars et un diamètre moyen des gouttelettes (VMD) de 243 µm est évalué. La distance de traitement est relativement réduite par rapport à une utilisation habituelle du gun. La dérive occasionnée par cet appareil est importante, avec >70% du produit qui n'atteint pas la cible. Un canon qui traite sur une distance de 52 m équipé de buses à cône creux avec une pression de 30 bars et un VMD de 200 µm est aussi évalué. Il obtient les résultats les plus mauvais en ce qui concerne le taux de couverture et la dérive, avec >75% de la bouillie qui n'atteint pas la cible. Les résultats du canon et du gun sont assez similaires et peu satisfaisants.

Ces auteurs ont également testé l'influence du vent sur la dérive. Les résultats montrent que la dérive est fortement influencée par les conditions météorologiques. Pour le canon, des tests ont été réalisés à des vitesses de vent différentes: 3-4 m/s et 0,5-1,5 m/s ou 1,0-2,0 m/s. La dérive produite par le canon aux deux plages de vitesse évaluées varie fortement, qu'il s'agisse des pertes dans l'atmosphère ou des pertes par sédimentation au sol. A une vitesse de vent faible (0,5-1,5 m/s), le canon obtient de meilleurs résultats que l'hélicoptère ou le gun en ce qui concerne les pertes dans l'atmosphère. Cependant, les valeurs de dérive sont nettement supérieures avec des vents plus élevés (3-4 m/s) dans l'atmosphère et sur le sol. Elles sont plus importantes que celles mesurées pour les autres moyens de traitement (hélicoptère et gun). La dérive

produite par le gun avec des vents entre 2,0-3,5 m/s est plus importante que celle produite par l'hélicoptère à des vents plus élevés (3,0-4,0 m/s). Au-delà de 100 m de la zone traitée, le gun obtient les résultats les plus mauvais avec la dérive dans l'atmosphère la plus élevée, plus importante que la dérive produite par le canon à des vents supérieurs (3,0-4,0 m/s). Les conditions météorologiques influencent de manière décisive les risques de dérive. Un traitement dans des conditions non idéales peut provoquer des pertes huit fois plus élevées qu'avec des vents faibles, selon Ganzelmeier (1982).

En arboriculture haute-tige, la dérive occasionnée par les pulvérisateurs de type canon dépend de la méthode d'application, selon Goff *et al.* (2014). Un traitement à l'arrêt ou en mouvement (le tracteur ne s'immobilise pas) ne va pas donner lieu à une dérive similaire. L'application à l'arrêt produit une dérive plus importante dans la zone à proximité immédiate du traitement. Les pertes maximums sont mesurées entre 5 et 10 m de la zone de traitement (25 à 30% du produit se dépose au sol). L'application en mouvement produit une dérive moins concentrée, mais au contraire dispersée, avec des valeurs individuelles moins élevées et un centre de gravité plus éloigné. Les mesures maximums sont mesurées à 20 m de la zone de traitement, avec 10-15% du produit qui se dépose au sol (Goff *et al.* 2014).

Le gun et le canon comportent des risques de dérive plus élevés que les pulvérisateurs conventionnels utilisés dans les vignobles mécanisables de plaine et en arboriculture intensive. Ils sont employés dans des contextes topographiques spécifiques et pour des cultures d'arbres haute-tige où il existe peu de solutions alternatives. De manière générale, au vu du risque accru de dérive, l'utilisation de ces deux types d'appareil devrait être évitée à proximité de zones sensibles (valeur environnementale ou écologique, eaux superficielles et zones habitées), en particulier si des solutions alternatives sont raisonnablement praticables.

Bien souvent, les exploitants utilisent le gun sur des cultures qui ne constituent pas leur activité principale et où les frais engendrés par l'achat d'une machine plus performante sont trop élevés par rapport aux bénéfices générés par ces cultures (par exemple, cultures de petits fruits). Ainsi, malgré le manque de précision de ces appareils, ils contribuent à maintenir une diversité de cultures sur les exploitations. Les risques liés à l'emploi du gun sont difficiles à évaluer avec le peu d'études disponibles concernant la dérive occasionnée. La quantité de dérive dépend aussi beaucoup de l'opérateur, et donc celle-ci est d'autant plus difficile à évaluer. Suivant l'utilisation du gun, les risques peuvent

être plus ou moins conséquents. Un traitement sur une longue distance avec une trajectoire assez haute au-dessus de la parcelle par température élevée va produire une dérive beaucoup plus problématique qu'un traitement plus proche de la végétation sur une distance plus restreinte par temps frais. Par ailleurs, un autre aspect décisif de l'utilisation problématique du gun est que son utilisation engendre des risques importants pour l'utilisateur.

Comme recommandation, la pulvérisation uniquement de l'extérieur vers l'intérieur devrait être généralisée en bordure de parcelle. La formation des utilisateurs et la mise à disposition de documents techniques de vulgarisation devraient également être encouragées, en particulier pour les rendre attentifs à l'importance des conditions météorologiques lors des traitements au gun et aux risques pour l'opérateur. Une interdiction totale de l'emploi du gun ne semble pas recommandée tant que des cultures importantes pour certaines régions de Suisse, comme les arbres haute-tige ou les vignes en forte pente, ne peuvent pas être entretenues avec des moyens de traitement plus adéquats.

En ce qui concerne l'emploi du canon, il faut tout d'abord relever que les surfaces concernées sont très restreintes (<500 ha). Par ailleurs, les progrès techniques réalisés sur ce type d'appareil sont conséquents et la réduction de la dérive est importante lorsque les réglages sont bien effectués et que des buses anti-dérive sont installées. Malgré l'évolution de ces appareils et même en respectant les bonnes pratiques, le risque de dérive élevée reste conséquent. Dans le cadre du permis de traiter, un module spécifique pourrait être développé pour l'utilisation d'un canon en particulier concernant la fine compréhension des paramètres météorologiques que l'opérateur doit maîtriser. Par ailleurs, le canon est perçu comme une alternative face aux restrictions liées à l'utilisation de l'hélicoptère sur des surfaces non mécanisables. L'atomiseur à dos étant une alternative comportant des contraintes et une pénibilité importante pour l'opérateur, le canon reste un outil intéressant dans certaines conditions.

Pour les deux types d'appareil, afin de limiter le ruissellement, un enherbement adéquat dans les parcelles et en bordure de celles-ci devrait être mis en place et entretenu là où les conditions pédoclimatiques le permettent. En effet, la part de sédimentation au sol étant importante pour le gun et le canon, les risques de ruissellement sont élevés et l'enherbement permettrait de limiter les risques de dérive hors des parcelles cultivées.

Conclusions

- Le gun est utilisé sur plus de 6000 ha, principalement dans des vergers haute-tige (4550 ha) et des vignobles en pente (1870 ha). Le canon est utilisé surtout dans des vignes en pente sur des surfaces beaucoup plus limitées (<500 ha). D'autres utilisations minoritaires existent (pépinières, petits fruits, etc.).
- Le risque de dérive est important avec ces deux types de pulvérisateurs et, pour le gun, l'utilisation de grands volumes d'eau induit aussi un dépôt de quantité importante de produits au sol (par ruissellement).
- Des mesures de précaution lors de l'application et une bonne formation spécifique des opérateurs permettraient de réduire les risques pour l'environnement, en particulier en ce qui concerne la dérive.
- Pour le gun, il est nécessaire de sensibiliser les opérateurs aux risques liés à l'exposition aux produits phytosanitaires et de veiller à ce qu'ils se protègent de manière adéquate. ■

Remerciements

Nous tenons à remercier l'Office fédéral de l'environnement pour le financement de cette étude ainsi que toutes les personnes ayant fourni des indications dans le cadre de l'enquête, en particulier les cantons et certains producteurs.

Bibliographie

- Fox R. D., Derksen R. C., Zhu H., Braree R. D. & Svensson S. A., 2008. A history of air-blast sprayer development and prospects. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, Vol. 51 (2): 405-410.
- Ganzelmeier H., 1982. Untersuchungen zur Anlagerung und Abtrift von Pflanzenschutzmitteln, Vergleich verschiedener Pflanzenschutzgeräte. *Rebe und Wein* 35, 214-218.
- Goff P., Nolte S., Bräsicke N. & Krebs M., 2014. Bekämpfung des Eichenprozessionsspinners im urbanen Grün: Tatsversuche zum Einsatz der Sprühkanone als Applikationstechnik für Pflanzenschutz und Biozidanwendungen, 59. *Deutsche Pflanzenschutztagung* 23-26 September.
- Holterman H. J., Van de Zande J. C., Porskamp H. A. J. & Huijsmans J. F. M., 1997. Modelling spray drift from boom sprayers. *Computers and Electronics in Agriculture* 19, 1-22.
- Jensen P. K. & Olesen M. H., 2014. Spray mass balance in pesticide application: A review. *Crop Protection* 61, 23-21.
- Lüders W. & Ganzelmeier H., 1983. Untersuchungsergebnisse über die Anlagerung der Behandlungsflüssigkeit bei verschiedenen Pflanzenschutzgeräten in Rebsteillagen, *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, 35 (5), 70-75.
- Viret O., Siefgried W., Holliger E. & Raisigl U., 2003. Comparison of spray deposits and efficacy against powdery mildew of aerial and ground-based spraying equipment in viticulture. *Crop Protection* 22, 1023-1032.

Summary**Spray gun and cannon sprayer: literature review on their use and specific risks**

The purpose of this literature review is to assess the use of spray guns and cannon sprayers and the risks linked to their use. Spray guns are used in almost all fruit trees and wine-growing regions of Switzerland with about 6400 ha concerned, mainly on high-stem trees and steep vineyards. The canon sprayers cover much smaller areas (> 500 ha), mainly in steep viticulture. The drift caused by spray gun and canon sprayer is higher than for other application methods and environmental conditions strongly influence it. Various recommendations are proposed. For both devices, a specific training module for operators could be developed. Measures such as spraying only inwards at the edge of the plot and near areas to be protected could also be implemented. For canon sprayers, technical adjustments make it possible to limit the drift by reducing the air volume blown and by installing anti-drift nozzles. For the spray gun, improvements in operator protection are imperative.

Key words: spray gun, cannon sprayer, drift, run off, risk mitigation

Zusammenfassung**Spritzpistole und Grossraum-Sprayer (Kanone): Literaturübersicht über ihren Einsatz und ihre spezifischen Risiken**

Der Zweck dieser Literaturübersicht ist, den Einsatz von Spritzpistolen- und Grossraum-Sprayer und die damit verbundenen Risiken zu beurteilen. Spritzpistole werden in fast allen Obstbau- und Weinbaugebieten der Schweiz eingesetzt. Rund 6400 ha sind hauptsächlich in Hochstamm Bäumen und Steillagen im Rebbau getroffen. Die Grossraum-Sprayer betreffen viel kleinere Flächen (> 500 ha), hauptsächlich in Steillagen. Die durch Spritzpistolen und Kanone verursachte Drift ist höher als bei anderen Spritzgeräte und wird stark von Umweltfaktoren beeinflusst. Verschiedene Empfehlungen sind vorgeschlagen. Für beide Geräte könnte ein Weiterbildungsmodul für das Bedienpersonal entwickelt werden. Maßnahmen wie die Behandlung nur in Richtung des Innen am Rande der Parzelle und in der Nähe von Schutzobjekte könnten ebenfalls umgesetzt werden. In Bezug auf die Grossraum-Sprayer ermöglichen technische Anpassungen eine Begrenzung der Drift durch Reduzierung des Luftvolumens und durch die Anwendung von Antidrift Düsen. Für die Spritzpistole sind Verbesserungen im Anwenderschutz unerlässlich.

Riassunto**Pistola (gun) e cannone per irrorazione: studio bibliografico sul loro uso ed i rischi specifici**

Questo studio bibliografico ha lo scopo di valutare l'uso di pistole irroratrici e di cannoni per irrorazione, così come i rischi inerenti il loro utilizzo. Le pistole sono utilizzate in quasi tutte le regioni frutticole e viticole della Svizzera con circa 6'400 ettari interessati, ma principalmente su alberi ad alto fusto e vigneti in pendenza. I cannoni riguardano superficie più piccole (> 500 ha), principalmente nella viticoltura in pendenza. La deriva causata dalle pistole irroratrici è maggiore rispetto ad altri mezzi di trattamento ed è fortemente influenzata dalle condizioni ambientali. Sono state formulate diverse raccomandazioni. Per entrambi i dispositivi potrebbe essere sviluppato un modulo di formazione continua per gli utenti. Potrebbero anche essere messe in atto delle modalità, applicando il trattamento unicamente dai bordi verso l'interno della parcella, in modo da poter rispettare le zone di protezione. Per quel che concerne il cannone, le regolazioni tecniche, quali la riduzione del volume d'aria dell'apparecchio e l'installazione di ugelli ad iniezione d'aria e antideriva, permettono di limitare la deriva. Per quel che riguarda la pistola irroratrice migliorare la protezione dell'utente è imperativo.

LA VIGNE

VOLUME 3

VIRUS, BACTERIES ET PHYTOPLASMES

**JEAN-SEBASTIEN REYNARD
SANTIAGO SCHAEERER
KATIA GINDRO
OLIVIER VIRET**



ISBN 978-3-85928-102-8

PRIX

Prix CHF 70.– / dès 10 ex. CHF 67.– / Ecoles CHF 63.–

(TVA incluse, frais de port non compris)

COMMANDES

AMTRA, Marinette Badoux, Avenue des Jordils 5, 1006 Lausanne
Téléphone: +41 21 614 04 77
www.revuevitiarbohorti.ch
info@revuevitiarbohorti.ch

Les maladies sont richement illustrées et traitées en considérant les connaissances les plus récentes en la matière. L'ouvrage présente également les méthodes modernes du diagnostic sérologique et moléculaire, les mesures de lutte prophylactique et d'assainissement.



Mieux s'équiper, c'est la clé du succès !



A l'écoute des évolutions du vigneron, Bucher Vaslin développe des solutions de vinification pour plus de performances, de valeur ajoutée et de retour sur investissement.

Nos concessionnaires agréés :

Gigandet SA
1853 Yvorne
Tél. 024/466 13 83

Gigandet SA - Succursale La Côte
1166 Perroy
Tél. 024/466 13 83

Avidor Valais SA
3970 Salgesch
Tél. 027/456 33 05

Valélectric Farner SA
1955 St Pierre de Clages
Tél. 027/305 30 00

Bucher Vaslin - Philippe Besse
CH-1787 Mur/Vully - Tél. 079/217 52 75
philippe.besse@buchervaslin.com

BUCHER
vaslin

www.buchervaslin.com
Votre réussite est notre priorité



Pépinières viticoles

Pierre Richard
Route de l'Etraz 4
1185 Mont-sur-Rolle
Tél. 021 825 40 33
Fax 021 826 05 06
Natel 079 632 51 69
pepiniere.richard@hispeed.ch

www.pepiniere-richard.ch



- Grand choix de cépages.
- Divers clones et portes-greffes.
- Production de plants en pots et traditionnels.
- Machine pilotée par GPS, pose la barbe et le tuteur.
- Fournitures: Tuteurs et Piquets.



ACTION du 11.11.2019 au 13.12.2019
Piquets | Fils | Tuteurs - Commandez sur notre webshop

gvz_rossat
Le choix des professionnels



Chemin du Milieu 6 - 1580 Avenches - Tél. 026 662 44 66

Comparaison agronomique et phytochimique de huit clones de *Mentha x piperita* L.

Claude-Alain CARRON¹, Vanathy ERAMBAMOORTY², José VOUILLAMOZ¹ et Christoph CARLEN¹

¹Agroscope, 1964 Conthey, Suisse

²ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, Group of Crop Science, 8092 Zurich, Suisse

Renseignements: Claude-Alain Carron, tél. +41 58 481 35 39, claude-alain.carron@agroscope.admin.ch, www.agroscope.ch



Figure 1 | Cultures de plantes aromatiques et médicinales à Ayent, sur l'adret valaisan, à 1050 m d'altitude. Au premier plan, de droite à gauche: menthe poivrée, thym citronné, ortie dioïque, thym vulgaire. A l'arrière-plan: mélisse citronnelle. (Photo C. Parodi, Agroscope)

Introduction

En Suisse, la menthe poivrée (*Mentha x piperita* L.) compte avec la sauge officinale, le thym vulgaire et la mélisse citronnelle parmi les espèces les plus importantes économiquement (fig. 1). Sa production est majoritairement destinée à l'industrie agroalimentaire sous forme d'herbes sèches. Les cultures se situent essentiellement à l'étage collinéen-montagnard entre 600 m et 1300 m d'altitude dans différentes régions du pays, principalement situées dans les cantons du Valais, de Berne, des Grisons et de Lucerne. Le génotype '541',

originaire de Crimée, est le plus couramment cultivé pour la production de drogue sèche (Vouillamoz *et al.* 2013). D'entente avec les principales industries, ce clone a été sélectionné en raison de sa vigueur, de ses qualités organoleptiques et d'une tolérance à la rouille (*Puccinia menthae*) supérieure à celle des clones traditionnels 'Mitcham' ou 'Italo-Mitcham', réputés pour leur sensibilité à ce pathogène (Rey 1997). Cependant, depuis quelques années, certains producteurs de menthe poivrée '541', notamment en conditions climatiques humides, se sont plaints d'une tendance baissière des rendements en herbe sèche, sans en identifier

clairement les causes, à l'exception d'attaques ponctuelles de rouille. Les travaux de Vouillamoz *et al.* (2013) ont permis d'exclure l'hypothèse d'une dégénérescence clonale.

Dans ce contexte, une comparaison variétale a été entreprise en 2012 avec huit génotypes de menthe poivrée, comprenant cinq clones sélectionnés à Freising (D) par le Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) pour leurs qualités agronomiques et leurs profils aromatiques (Bomme *et al.* 2001; Bomme *et al.* 2005), ainsi que les trois clones traditionnels 'Mitcham JS', 'Multimentha' et '541'. De 2013 à 2017, ces huit clones ont été évalués sur des paramètres morphologiques, agronomiques et phytochimiques lors de quatre expérimentations aux champs dans différentes régions géographiques et conditions environnementales. En 2017, dans le cadre d'un travail de master, des mesures physiologiques supplémentaires de surfaces foliaires, du nombre de trichomes et de la photosynthèse nette ont été réalisées au champ et dans un essai en pot en serre. Les principaux résultats obtenus sont présentés et discutés ci-dessous.

Matériel et méthodes

Origine des clones

Mentha x piperita L. est une espèce hémicryptophyte de la famille des Lamiacées qui résulte d'un croisement interspécifique entre *Mentha x spicata* L. et *Mentha x aquatica* L. Cette espèce stérile ne se multiplie que végétativement. Dans le monde, de très nombreux clones dont les caractéristiques morphologiques et aromatiques diffèrent sensiblement sont en circulation. En règle générale, les faibles performances agronomiques d'un cultivar sont attribuées à la qualité de jeunes plantes, à des stress environnementaux, à des pratiques agricoles inadéquates (Rohloff *et al.* 2005, Oroian *et al.* 2017) ainsi qu'à des facteurs génétiques. Dans une étude menée en Bavière, Bomme *et al.* (2001) ont mis en évidence l'importance du génotype en suivant le comportement agronomique de quatorze accessions BLBP durant plusieurs années. De ces travaux, nous avons retenu, en raison de leur potentiel de production en herbe sèche, les génotypes 'BLBP 02', 'BLBP 04', 'BLBP 35', 'BLBP 47' et 'BLBP 56' afin de les tester en Suisse, en comparaison avec le standard '541', ainsi qu'avec deux autres clones traditionnels, 'Mitcham' et 'Multimentha'.

En agronomie, deux formes de menthe poivrée sont généralement décrites:

- *forma palescens*: menthe blanche ou menthe du Palatinat, à tiges vertes ou légèrement violacées, à feuilles vert clair, lancéolées et à tige verte.

Résumé

En Suisse, depuis une trentaine d'années, les cultivateurs de menthe poivrée (*Mentha x piperita* L.) utilisent le clone '541', originaire de Crimée, choisi pour sa productivité, sa teneur élevée en huile essentielle et sa tolérance à la rouille (*Puccinia menthae*). Cependant, depuis une décennie, des producteurs se sont inquiétés d'une tendance baissière des performances de ce génotype. Afin de vérifier la véracité de ces affirmations, huit clones de menthe poivrée ont été comparés de 2013 à 2017. Quatre expériences en plein champ et une en serre ont eu lieu. En comparaison avec le standard '541', deux génotypes de *forma palescens* ('BLBP02', 'BLBP04') ainsi que cinq de *forma rubescens* ('BLBP35', 'BLBP47', 'BLBP56', 'Mitcham JS' et 'Multimentha') ont été retenus. Les principaux critères évalués ont été le rendement en matière sèche et en feuilles, le pourcentage de feuilles, la teneur et la composition en huile essentielle, la qualité organoleptique et la sensibilité à la rouille. Dans les conditions climatiques montagnardes, les génotypes *f. palescens* '541' et BLBP 02' ainsi que les génotypes *f. rubescens* 'Multimentha' et 'BLBP 56' se sont révélés les plus productifs. Dans le climat de plaine, plus chaud et sous serre, 'BLBP 47' et 'Mitcham JS' se sont révélés performants. La teneur en huile essentielle a varié en fonction de facteurs saisonniers, environnementaux et phénologiques, tandis que la composition de l'huile essentielle a davantage été influencée par le génotype. L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de distinguer quatre profils aromatiques. Sous forme de tisane, les dégustateurs ont discriminé les différents chémotypes. 'BLBP 56' a été préféré au '541', contrairement aux deux autres profils aromatiques. Aucun des clones testés n'a été très sensible à la rouille, mais les *f. rubescens* ont démontré une meilleure résistance à ce pathogène. En conclusion, le choix du génotype doit répondre aux demandes du marché. En Suisse, pour une production à l'intention des industries agroalimentaires, le clone '541' demeure le standard en raison de son profil aromatique conforme aux attentes et de sa bonne productivité, notamment en zone de montagne.



– *forma rubescens*: menthe noire ou «type Mitcham», à tiges violacées et feuilles vert foncé, à marges pourpres (Dachler et Pelzmann 2017; Iteipmai 2011).

Dans nos essais, trois clones de *f. palescens* ('541', 'BLBP 02' et 'BLBP 04') et cinq clones de *f. rubescens* ('BLBP 35', 'BLBP 47', 'BLBP 56', 'Mitcham JS' et 'Multimentha') ont été évalués (fig. 2). La forme et l'origine des pieds-mères des huit clones de menthe poivrée figurent dans le tableau 1. Concernant le clone 'Mitcham' obtenu auprès du Jardin des senteurs à Neuchâtel, son origine exacte n'est pas connue. Nous utiliserons donc le nom de 'Mitcham JS' dans cette publication, car de par le monde, nombreuses sont les accessions commercialisées sous ce nom: 'Mary Mit-

cham', 'Black Mitcham', 'Todd Mitcham', 'Murray Mitcham', 'Mitcham Milly', 'Italo-Mitcham', etc. Les génotypes 'Mitcham' se caractérisent généralement par leur richesse en menthol (Iteipmai 2011; Dachler et Pelzmann 2017), mais sont également connus pour leur sensibilité à la rouille, ce qui n'est pas le cas de 'Mitcham JS'. Ce clone présente davantage de similitude avec une obtention américaine récente, le 'Cascade Mitcham', moins riche en menthol, mais résistant à la rouille de la menthe et à la verticilliose (*Verticillium dahliae*) (Roberts 2001). Pour chaque expérimentation, tous les clones ont été multipliés par boutures herbacées le printemps précédant l'installation des essais.

Tableau 1 | Formes et origines des huit clones de *Mentha x piperita* L.

Clones	Formes	Origines des pieds-mères	Remarques
541	menthe blanche <i>forma palescens</i> (Camus)	Valplantes, CH	standard en Suisse
BLBP 02		Effner, D	sélection LfL*
BLBP 04		Effner, D	sélection LfL*
BLBP 35	menthe noire <i>forma rubescens</i> (Camus)	Lechner, D	sélection LfL*
BLBP 47		Lechner, D	sélection LfL*
BLBP 56		Effner (D)	sélection LfL*
Mitcham JS		Jardins des senteurs, CH	authenticité douteuse
Multimentha		Jardins des senteurs, CH	sélection de Thuringie

* LfL: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

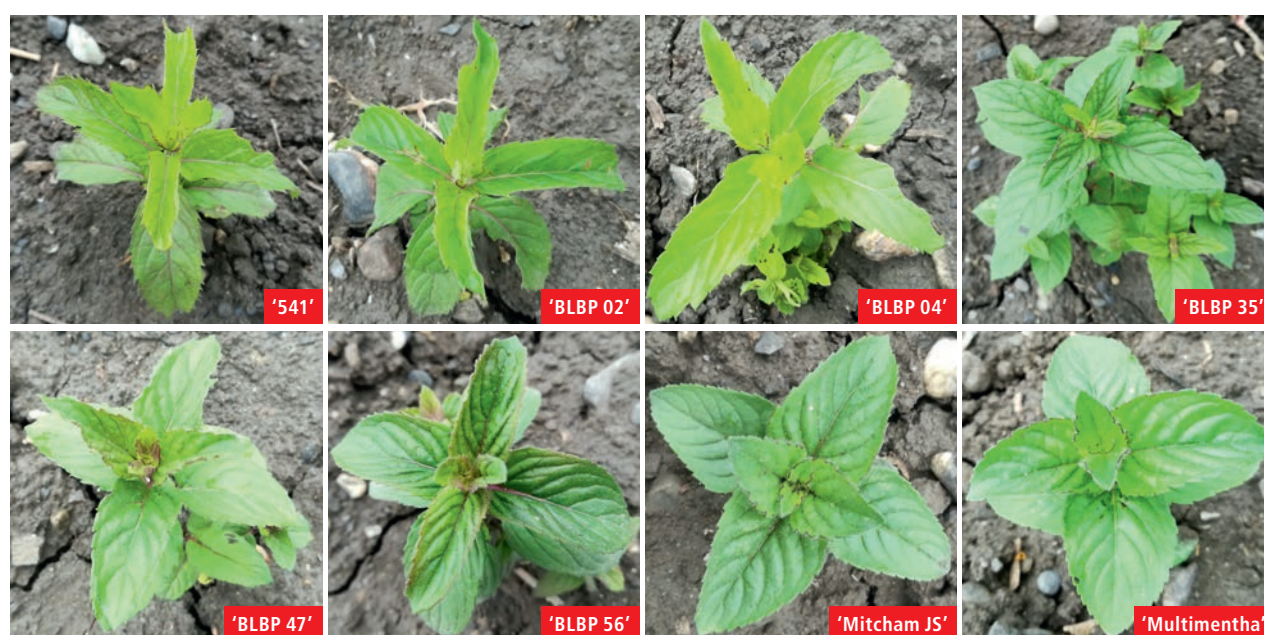


Figure 2 | Jeunes plantes des huit clones comparés. Trois de *forma palescens* menthe blanche: '541', 'BLBP 02' et 'BLBP 04'. Cinq de *forma rubescens* menthe noire: 'BLBP 35', 'BLBP 47', 'BLBP 56', 'Mitcham JS' et 'Multimentha'.

Description géographique et climatique des essais

Les quatre essais plein champ ont eu lieu dans des sites géographiques à des altitudes et dans climats divers (tabl. 2):

- en 2013-2014 et en 2015-2016, au site expérimental Agroscope de Bruson (VS), dans le val de Bagnes, à une altitude de 1050 m, en climat montagnard;
- en 2016-2017, à Zollbrück (BE), en Emmenthal, à une altitude de 830 m, à l'étage de végétation collinéen;
- en 2017-2018, à Conthey (VS), au centre de recherche Agroscope, à une altitude de 480 m, dans les conditions de la plaine du Rhône.

L'expérience en pots sous serre en verre non chauffée a été effectuée sur le site de Conthey durant l'été 2017.

Les données climatologiques durant la période végétative d'avril à octobre des parcelles plein champ sont tirées du réseau de stations météorologiques Agrométéo. Celles de Zollbrück ont été extrapolées à partir des valeurs enregistrées à la station proche de Zaeziwil. En raison de l'altitude inférieure de 100 m

de cette station par rapport à la parcelle d'essai, 0,65°C a été ôté aux valeurs de température. Les données de la serre à Conthey ont été obtenues à partir du logiciel de gestion climatique durant la période de l'essai du 19 juin au 25 septembre (tabl. 3).

Données culturales et paramètres évalués

Les essais au champ ont été conduits en suivant les règles de l'agriculture biologique, sans aucun intrant de synthèse. Chaque année, une fumure a été apportée en fonction de la richesse du sol selon la norme révisée N 110, P₂O₅ 60, K₂O 200 kg/ha (Carlen et Carron 2017). Pour l'azote, les apports ont été fractionnés en deux, le premier en avril au départ de la végétation et le second à la mi-juillet.

Les cultures de Bruson et de Zollbrück étaient disposées en plates-bandes à une densité de plantation de 9 plantes/m², tandis que l'essai de Conthey a été conduit à une densité de 5 plantes/m² en monolignes espacées de 80 cm. Les caractéristiques pédologiques des différents sites sont décrites dans le tableau 4. ➤

Tableau 2 | Années des essais et situations géographiques des parcelles expérimentales.

Années	Sites	Coordonnées	Altitude	Pente	Exposition
2012-2013	Bruson	46°03'35.9"N 7°13'37.9"E	1050	10%	nord-est
2014-2015	Bruson	46°03'35.9"N 7°13'37.9"E	1050	10%	nord-est
2016-2017	Zollbrück	46°58'56.5"N 7°45'58.4"E	830	20-25 %	sud
2016-2017	Conthey	46°12'40.9"N 7°18'04.0"E	480	> 5%	sud
2017	Conthey serre	46°12'40.9"N 7°18'04.0"E	480	0	sud

Tableau 3 | Température moyenne, maximale et minimale et précipitations durant la période végétative, d'avril à octobre dans les trois sites essais.

Sites	Année	Températures (°C)			Précipitations mm	Irrigation ¹
		moyenne	maxi	mini		
Bruson	2013	12,4	31,8	-5,4	594	oui
	2014	12,5	29,2	-0,6	543	oui
	2015	13,2	34,1	-3,7	574	oui
	2016	12,7	30,3	-2,5	487	oui
Zollbrück ²	2016	12,5	31,0	-3,9	962	non
	2017	13,1	31,1	-5,9	684	non
Conthey	2017	16,4	35,6	-1,0	290	oui
Conthey serre ³	2017	25,3	40,7	16,0	0	oui ³

¹ Par aspersion, 20 à 30 mm par semaine de mai à septembre.

² Les valeurs de Zollbrück sont calculées à partir des données de la station Agrométéo proche de Zaeziwil située à une altitude de 736 m (-0,65 °C en moyenne).

³ Température moyenne, maxi et mini du 19 mai au 25 septembre. Irrigation par marée dès que les pots étaient secs.



Figure 4 | Sporulation de la rouille (*Puccinia menthae*) sur la face adaxiale d'une feuille de menthe poivrée forma *palescens* à Zollbrück en 2016.

Tableau 4 | Conditions pédologiques des sites d'essais.

Sites	Conditions	pH	MO (%)	Type de sol
Bruson	plein champ	6,5	3,5	morainique, caillouteux
Zollbrück	plein champ	7,6	3,7	loam limoneux
Conthey	plein champ	8,0	3,1	loam argileux-limoneux
Conthey	serre	6,2		tourbe blonde 65 %, tourbe noire 35% + argile

Tableau 5 | Dates et stades phénologiques de récoltes.

Dates et stades phénologiques de récoltes	Dates de récoltes	Stade phénologique BBCH*		Outils
		Clones <i>f. palescens</i>	Clones <i>f. rubescens</i>	
Bruson	3 octobre 2013	47-55	47-49	Supercut NT 2000
	26 juin 2014	47-53	45-49	
	5 septembre 2014	49-52	47-49	
Bruson	26 août 2015	49-52	47-49	
	22 juin 2016	45-55	45-52	
	5 septembre 2016	43-47	43-47	
Zollbrück	9 septembre 2016	54-55	47-49	
	17 mai 2017	47-49	47-49	
	13 juillet 2017	50-54	47-51	
Conthey	5 septembre 2017	47-49	47-49	
	9 août 2017	60-65	55-63	
	6 septembre 2017	47-55	47-49	
Conthey serre	31 juillet 2017	45-55	45-52	
	5 septembre 2017	43-47	43-47	

*code BBCH = échelle des stades de développement phénologique des plantes

Les récoltes ont été réalisées avec l'outil portatif Supercut NT 2000, au stade phénologique BBCH 47-55 «boutons à premières fleurs visibles» des clones *f. palescens* plus précoces que ceux *f. rubescens*, sauf lors de la première récolte à Conthey en 2017, où elle est intervenue plus tardivement, au stade BBCH 60-65 (tabl. 5). Les récoltes ont été entreposées, pesées et séchées en caisses à légumes G1 en polypropylène. Le séchage a été réalisé à une température de 35°C durant 60-72 h dans une installation en inox avec déshumidification et chauffage. Le rapport feuilles/tiges (pourcentage de feuilles) a été déterminé par effeuillage manuel à partir de 100 g de plantes séchées.

L'expérience en pot sous serre a été réalisée sur tables à marée. Des pots plastiques thermoformés d'un diamètre de 10,5 cm et d'une contenance de 0,52 cl ont été utilisés. Le substrat employé était du composé de tourbe blonde 65% et noire 35%, additionné d'argile (100 l/m³) et de 1500 g d'engrais/m³ (14% N, 10% P₂O₅, 18% K₂O). A partir de la mi-juillet, une fumure liquide hebdomadaire a été appliquée (N 100 g/L, P₂O₅ 100 g/L, K₂O 75 g/L).

Les mesures de rendement en matière sèche, en feuilles et en huile essentielle ont été répliquées quatre fois et analysées statistiquement (Analyse de variance ANOVA; Tukey test. Logiciels R3.2.1 et XLS-TAT). Les teneurs en huile essentielle ont été déterminées à partir de 20 g de feuilles sèches au laboratoire d'Agroscope Conthey par hydrodistillation durant 2 h à un débit de 2 à 3 ml/minute. La composition des huiles essentielles a été réalisée à la ZHAW (Zürcher

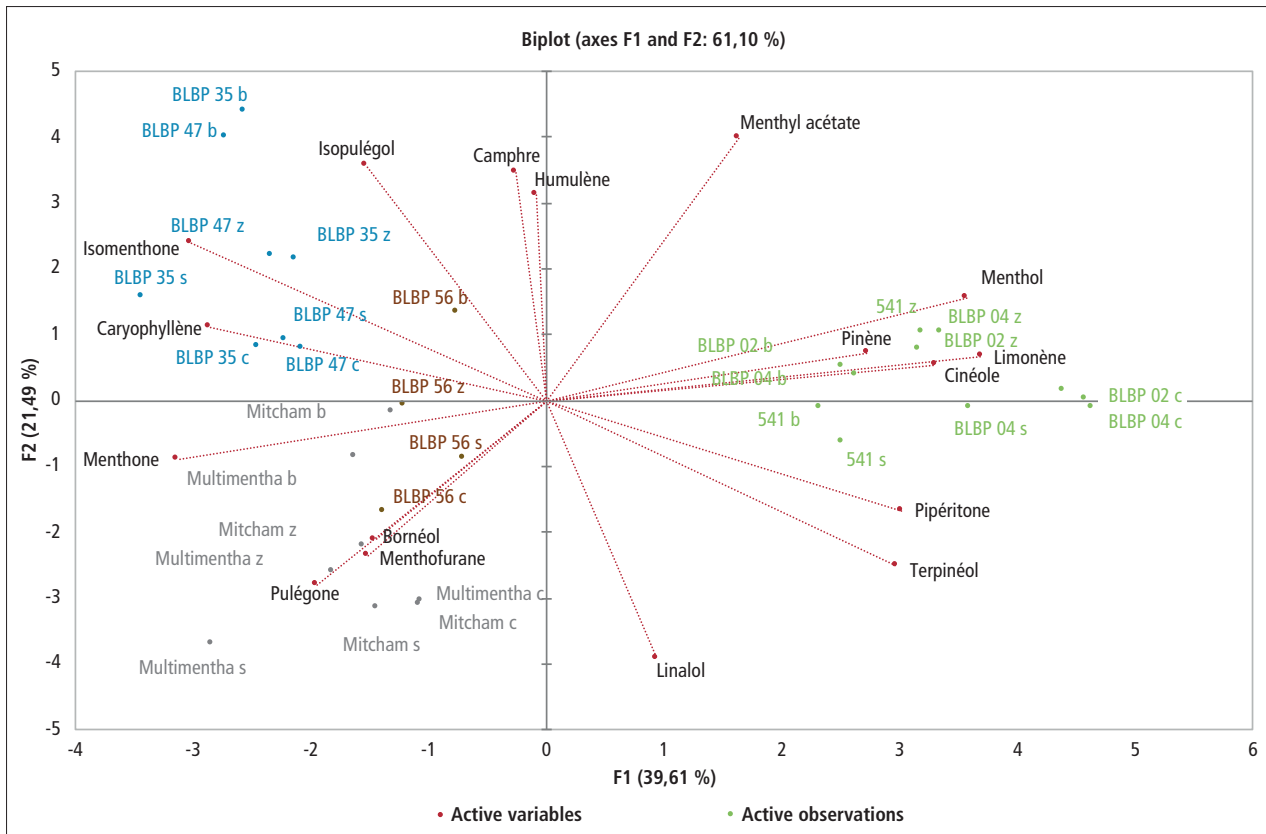


Figure 3 | Analyse en composantes principales (ACP) de huit clones de *Mentha x piperita* dans quatre différents site de cultures.

B = Bruson, récolte 5 septembre 2016, C = Conthey, récolte 9 août 2017; S = Conthey serre, récolte 31 juillet 2017; Z = Zollbrück, récolte 13 juillet 2017.

Hochschule für Angewandte Wissenschaften) par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme (GC/FID).

Pour l'évaluation sensorielle, un test discriminant deux sur cinq a été utilisé en comparant le clone '541' avec les clones 'BLBP 04', 'BLBP 35', 'BLBP 56' et 'Multimentha'. Ces quatre clones ont été choisis sur la base de leur profil aromatique établi par l'analyse en composantes principales (ACP) comme représentatifs de quatre chémotypes (fig. 3). Les 21 panélistes étaient isolés dans une cabine éclairée par une lampe rouge, afin que la couleur n'altère pas leur perception. Ils devaient d'abord discriminer cinq échantillons (deux sur cinq), puis indiquer leur préférence.

La détection visuelle des symptômes de rouille (fig. 4) était effectuée hebdomadairement sur la face inférieure de la quatrième feuille à partir de l'apex. Dix feuilles par clone et par répétition étaient contrôlées.

En 2017, dans les expériences en pots et au champ du site de Conthey, les trichomes (fig. 5) ont été comptés sur les deux côtés de la cinquième feuille à partir de l'apex, à l'aide d'un microscope (Olympus SZX7). La surface foliaire des pots en serre et par mètre carré

au champ a été déterminée à l'aide d'un appareil de calcul de surface (LI-3100, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA). Le 8 septembre 2017, entre 12 h et 14 h, le taux de photosynthèse nette a été mesuré sur cinq feuilles



Figure 5 | Trichomes (glandes sécrétrices d'huile essentielle) sur la face adaxiale d'une feuille de *Mentha x piperita*.

par clone à l'aide un instrument portable (LI-6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE, Etats-Unis).

Résultats et discussion

Rendements en matière sèche et feuilles

Dans nos essais, le rendement en biomasse et en feuilles des clones a sensiblement varié en fonction du site et de l'année de culture. A Bruson, en 2013-2014, 'Multimentha' s'est avéré le plus performant en matière et en feuilles sèches, tandis qu'en 2015-2016, ce sont '541' et 'BLBP 02' qui se sont distingués (tabl. 6 et fig. 6). Bien que substantielles, au cumul des récoltes, les différences de rendement n'étaient pas toujours significatives. Dans ce site, en 2016, les pourcentages moyens en feuilles de 'BLBP 35' (61,4%), 'Mitcham JS' (60,2%) et de 'Multimentha' (57,1%) étaient les plus faibles, insuffisants en regard des exigences de qualité des industries suisses (% feuilles > 70%). A Zollbrück, tous les géotypes *f. rubescens* ont eu une production en biomasse au cumul des récoltes statistiquement plus élevée que les *f. palescens* (tabl. 6). 'BLBP 56', 'BLBP 35' et 'Multimentha' y ont été les plus productifs (fig. 6). En moyenne dans ce site, le taux de feuilles était plus faible qu'à Bruson (< 60%), en particulier pour les clones de menthe noire, probablement en raison de leur bonne vigueur. A Conthey en 2017, en première

année de culture, 'Multimentha', 'Mitcham JS' et 'BLBP 47' ont eu des rendements en feuilles sèches significativement plus élevés par rapport aux trois géotypes *f. palescens*. Ces derniers ont eu une production décevante en première année dans les conditions de plaine. A l'inverse, le bon comportement de 'Mitcham JS' et de 'BLBP 47' est probablement à mettre en relation avec le climat plus doux de Conthey (tabl. 3), car ces deux géotypes se sont également révélés les plus productifs en pot sous serre (Erambamoorty 2017). Dans ce site, le pourcentage de feuilles très bas des trois clones de menthe blanche ($\approx 45\%$) lors de la première récolte est surprenant, mais s'explique pour deux raisons. Le dispositif expérimental en monoligne et un stade phénologique plus précoce que celui des clones de menthe noire ont favorisé une croissance verticale avec une élongation rapide et exagérée des entre-nœuds. Lors de la seconde récolte, le pourcentage de feuilles était similaire pour tous les clones (tabl. 6). A l'exception de l'expérience sous serre, 'Multimentha' s'est révélé le géotype le plus productif dans tous les sites et toutes les années, et le moins sensible aux différentes conditions environnementales.

Rendement et composition de l'huile essentielle

Selon la Pharmacopée européenne (Ph Eur), la teneur minimale en huile essentielle de *Menthae piperitae*

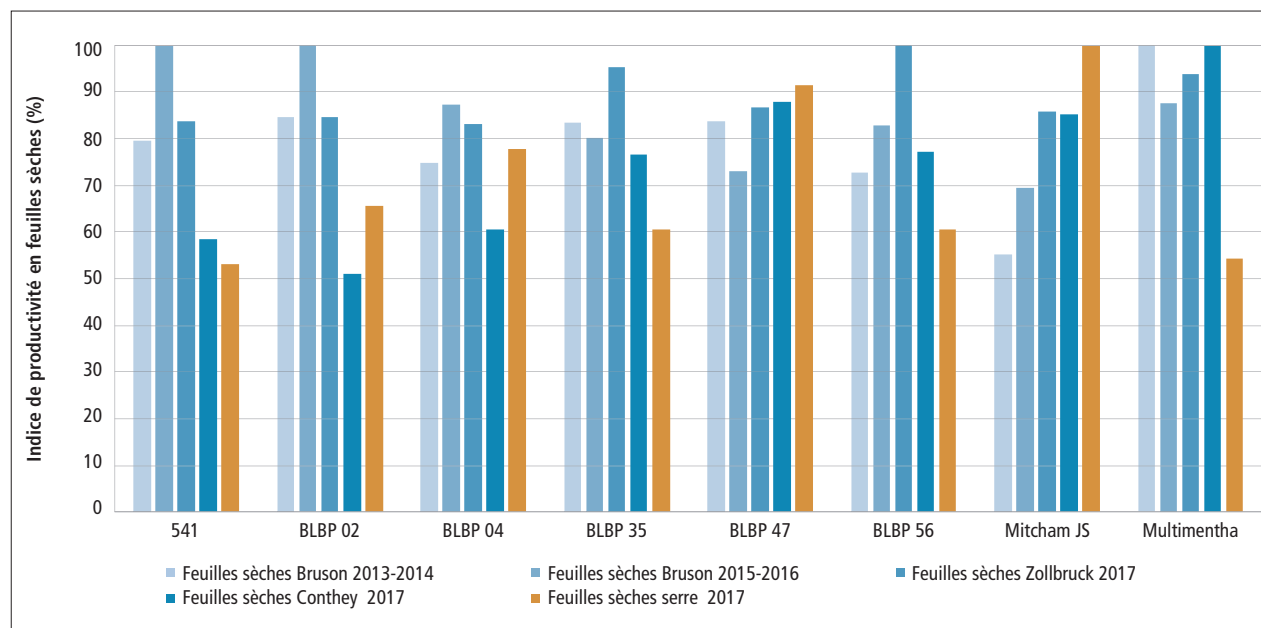


Figure 6 | Indice de productivité en feuilles sèches exprimé en % par rapport au rendement du meilleur clone de huit géotypes de *Mentha x piperita* à Bruson (2013-2014 et 2015-2016), à Zollbrück (2016-2016), à Conthey (2017) et en culture sous serre (2017). Moyennes de quatre répétitions.

Tableau 6 | Rendements en matière sèche et en feuilles et pourcentage de feuilles de huit clones de *Mentha x piperita* à Bruson (2016), Zollbrück et Conthey (2017). Moyennes de quatre répétitions.

 Bruson 2016. 2^e année de culture.

Clones	Matière sèche (g/m ²)			Feuilles sèches (g/m ²)			Feuilles (%)		
	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Moyenne
541	183	184	367	117 ^{ab}	132 ^a	250	63,9 ^{ab}	71,6	68,1
BLBP 02	208	166	374	139 ^a	110 ^{ab}	249	66,7 ^a	66,4	66,6
BLBP 04	176	136	312	114 ^{ab}	88 ^{ab}	202	64,7 ^{ab}	64,9	64,8
BLBP 35	170	152	322	101 ^{ab}	96 ^{ab}	197	59,4 ^{ab}	63,1	61,1
BLBP 47	150	119	269	96 ^{ab}	77 ^b	173	64,1 ^{ab}	64,6	64,3
BLBP 56	162	145	307	109 ^{ab}	104 ^{ab}	213	67,3 ^a	71,9	69,5
Mitcham JS	148	136	284	81 ^b	92 ^{ab}	173	54,7 ^{ab}	67,8	61,0
Multimentha	215	187	402	111 ^{ab}	119 ^{ab}	230	51,6 ^b	63,6	57,1

 Zollbrück 2017. 2^e année de culture.

Clones	Matière sèche (g/m ²)				Feuilles sèches (g/m ²)				Feuilles (%)			
	1 ^{re} réc.	2 ^e réc.	3 ^e réc.	Total	1 ^{re} réc.	2 ^e réc.	3 ^e réc.	Total	1 ^{re} réc.	2 ^e réc.	3 ^e réc.	Moy.
541	116 ^c	191 ^c	191 ^{bc}	497 ^c	77 ^{cd}	120	120	317 ^b	66,9 ^{ab}	63,0 ^a	62,6 ^{abc}	63,8 ^{ab}
BLBP 02	112 ^c	225 ^{abc}	151 ^c	487 ^c	80 ^{cd}	135	108	323 ^b	71,7 ^a	60,2 ^{ab}	72,2 ^a	66,3 ^a
BLBP 04	134 ^{bc}	199 ^{bc}	157 ^c	493 ^c	93 ^{bc}	106	111	306 ^b	68,8 ^{ab}	51,1 ^{ab}	70,2 ^{ab}	61,9 ^{abc}
BLBP 35	176 ^a	253 ^{ab}	227 ^{ab}	657 ^{ab}	107 ^{ab}	124	137	367 ^{ab}	60,8 ^b	49,3 ^b	60,0 ^{bc}	56,0 ^{cd}
BLBP 47	124 ^c	239 ^{abc}	227 ^{abc}	590 ^b	80 ^{cd}	134	120	338 ^{ab}	64,0 ^{ab}	56,0 ^{ab}	53,1 ^c	56,5 ^{cd}
BLBP 56	175 ^a	259 ^a	243 ^a	677 ^a	117 ^a	146	134	392 ^a	66,7 ^{ab}	56,3 ^{ab}	55,5 ^c	58,7 ^{bcd}
Mitcham JS	116 ^c	231 ^{abc}	234 ^{ab}	581 ^b	72 ^d	122	125	319 ^b	62,0 ^b	52,8 ^{ab}	53,3 ^c	54,8 ^d
Multimentha	159 ^{ab}	240 ^{abc}	221 ^{ab}	620 ^{ab}	105 ^{ab}	134	120	358 ^{ab}	65,9 ^{ab}	55,3 ^{ab}	54,2 ^c	57,6 ^{bcd}

 Conthey 2017. 1^{re} année de culture.

Clones	Matière sèche (g/m ²)			Feuilles sèches (g/m ²)			Feuilles (%)		
	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Moyenne
541	138	73 ^{abc}	211 ^{ab}	62 ^{bc}	48 ^{bc}	110 ^{cd}	45,5 ^b	66,9	53,1 ^b
BLBP 02	126	52 ^c	178 ^b	58 ^c	38 ^c	96 ^d	46,3 ^b	73,1	54,1 ^b
BLBP 04	150	65 ^{bc}	215 ^{ab}	68 ^{bc}	46 ^{bc}	114 ^{cd}	45,5 ^b	70,8	53,1 ^b
BLBP 35	132	64 ^{bc}	196 ^{ab}	97 ^{abc}	46 ^{bc}	144 ^{bc}	73,6 ^a	72,5	73,4 ^a
BLBP 47	152	68 ^{bc}	219 ^{ab}	113 ^a	51 ^{bc}	165 ^{ab}	75,0 ^a	76,0	75,5 ^a
BLBP 56	140	62 ^{bc}	202 ^{ab}	99 ^{ab}	45 ^{bc}	145 ^{bc}	72,0 ^a	74,0	72,2 ^a
Mitcham JS	137	85 ^{ab}	222 ^{ab}	101 ^{ab}	58 ^{ab}	160 ^{ab}	73,7 ^a	69,3	72,1 ^a
Multimentha	162	99 ^a	261 ^a	120 ^a	69 ^a	188 ^a	73,5 ^a	69,3	71,8 ^a

Tukey Test: les petites lettres indiquent les différences significatives.



folium doit être supérieure à 12 ml/kg dans les feuilles séchées entières ou à 9 ml/kg dans les feuilles fragmentées. *Menthae piperitae aetheroleum* doit renfermer 30 à 55% de menthol, 13 à 32% de menthone, 2,8 à 10% d'acétate de menthyle, 3,4 à 14% de cinéole, 1 à 9% de menthofurane, 1 à 5% de limonène, 1,5 à 10% d'isomenthone et au maximum 4% de pulégone et 1% de carvone (Teuscher *et al.* 2005). En outre, le rapport cinéole/limonène devrait être supérieur à 2 (Iteipmai 2011).

Lors de toutes nos analyses, la teneur en huile essentielle des huit génotypes testés a dépassé les exigences de Ph Eur (tabl. 7). Des variations phénologiques et saisonnières substantielles ont été observées (fig. 6). Les meilleures teneurs en huile essentielle ont été obtenues lors des récoltes estivales favorisées par la longueur du jour, l'intensité lumineuse et les températures nocturnes élevées (Clarck et Menary 1980). Pour des raisons non élucidées, selon les sites, les clones les plus riches en huile essentielle n'ont pas toujours été identiques. Hypothétiquement, ce comportement pourrait être lié au stade phénologique lors des récoltes ou à d'autres facteurs environnementaux. A Bruson, lors des deux essais, les génotypes *f. palescens* ont obtenu en moyenne les teneurs en huile essentielle les plus élevées. A Zollbrück, 'BLPB 02', 'BLPB 04' et 'Multimetha' ont été significativement supérieurs à 'BLBP 56' et 'Mitcham JS', tandis qu'à Conthey, 'Mitcham JS' et 'Multimetha' se sont révélés les plus performants de manière significative par rapport à tous les clones de menthe blanche (tabl. 7).

La composition de l'huile essentielle a été influencée en premier lieu par le génotype et dans une moindre mesure par les autres facteurs extrinsèques, comme l'atteste l'analyse en composantes principales ACP (fig. 3). En regard des exigences de la Ph Eur, quatre profils aromatiques distincts ont été caractérisés (tabl. 8).

Chémotype 1: les clones *forma palescens* '541'; 'BLBP 02' et 'BLBP 04' ont une teneur moyenne en menthol (27,3 à 37,7%), élevée en menthone (27,5 à 38,2%), faible en menthofurane (0,14 à 1,74%), faible à moyenne en acétate de menthyle (1,5 à 3,4%), moyenne en isomenthone (2,1 à 2,9%), très faible en pulégone (0,2 à 1,0%), élevée en limonène (4,5 à 8,5%) et moyenne en cinéole (4,6 à 6,1%).

Chémotype 2: les clones *forma rubescens* 'BLBP 35' et 'BLBP 47' ont une teneur faible en menthol (13,1 à 20,2%), très élevée en menthone (47,2 à 56,9%), faible à moyenne en menthofurane (0,09 à 5,12%), faible à moyenne en acétate de menthyle (2,0 à 3,5%), moyenne

en isomenthone (6,1 à 7,7%), très faible à moyenne en pulégone (0,1 à 3,8%), très faible en limonène (0,5 à 1,0%) et faible à moyenne en cinéole (3,2 à 4,8%).

Chémotype 3: le clone 'BLBP 56' est assez similaire au chémotype 2, mais se distingue par une teneur plus élevée en menthol (17,0 à 25,2%) et plus basse en menthone (28,6 à 51,0%). Il contient également davantage de menthofurane (0,7 à 8,2%), moins d'isomenthone (3,1 à 4,4%) et sensiblement plus de pulégone (0,8 à 12,8%) et de limonène (1,2 à 2,4%).

Chémotype 4: les clones 'Mitcham JS' et 'Multimetha' ont une teneur faible en menthol (9,8 à 16,2%), très élevée en menthone (52,9 à 64,5%), faible à moyenne en menthofurane (0,3 à 7,3%), très faible en acétate de menthyle (0,2 à 0,9%), moyenne en isomenthone (3,5 à 4,4%), faible à élevée en pulégone (0,2 à 7,7%), très faible en limonène (0,3 à 0,7%) et faible à moyenne en cinéole (2,5 à 4,6%). Les composés dont la teneur a le plus varié en fonction des conditions environnementales ou phénologiques sont le menthofurane et la pulégone. Hormis dans le site de Bruson, des teneurs importantes de ces deux composés hépatotoxiques sont présentes dans les génotypes *f. rubescens*, en particulier dans le clone 'BLBP 56'. Selon la littérature, la teneur en pulégone est élevée dans les jeunes feuilles, mais s'estompe rapidement aux cours du développement végétatif (Bruneton 2009), ce qui pourrait partiellement expliquer pourquoi les génotypes *forma rubescens*, plus tardifs que les *forma palescens*, en contiennent davantage. Comme la menthofurane est fortement corrélée à la pulégone ($r = 0,928$), il est probable que la teneur de ce composé soit également plus importante dans les jeunes feuilles.

A noter que, comme le signalait Bomme (2005), tous ces clones de menthe sont adéquats pour la production de drogue sèche, mais aucun ne remplit les critères de la Ph Eur pour la production d'huile essentielle, ni ceux de la norme ISO 856 2006-4 (Iteipmai 2011). Les génotypes *forma palescens* (chémotype 1) satisfont généralement aux exigences pour le menthol, le cinéole et l'isomenthone, mais pas en ce qui concerne le rapport cinéole/limonène. Les *forma rubescens* (chémotypes 2, 3 et 4) présentent généralement une teneur trop élevée en menthone et faible en menthol. Seuls le chémotype 4 ('Mitcham JS' et 'Multimetha') présente un rapport cinéole/limonène qui répond aux critères de la Ph Eur.

Evaluation sensorielle

Lors de l'évaluation sensorielle de tisane, un clone de chaque chémotype a été comparé au standard '541' dans un test discriminant deux sur cinq. 'BLBP 04' n'a

Tableau 7 | Rendements et teneurs en huile essentielle de huit clones de *Mentha x piperita* à Bruson (2016), Zollbrück et Conthey (2017). Moyennes de quatre répétitions.

 Bruson 2016, 2^e année de culture

Clones	Huile essentielle (%)			Huile essentielle (ml/m ²)		
	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Moyenne	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total
541	2,91 ^a	3,65	3,29 ^{ab}	2,9 ^a	3,7	6,6 ^{ab}
BLBP 02	3,13 ^a	3,78	3,43 ^a	3,1 ^a	3,8	6,9 ^a
BLBP 04	3,02 ^a	3,54	3,25 ^{abc}	3,0 ^a	3,5	6,6 ^{ab}
BLBP 35	2,39 ^b	3,54	2,95 ^{bcd}	2,2 ^b	3,3	5,6 ^c
BLBP 47	2,34 ^b	3,45	2,84 ^d	2,3 ^b	3,5	5,8 ^{bc}
BLBP 56	2,26 ^b	3,24	2,74 ^d	2,3 ^b	3,2	5,5 ^c
Mitcham	2,30 ^b	3,51	2,94 ^{cd}	2,3 ^b	3,5	5,8 ^{bc}
Multimentha	2,28 ^b	3,61	2,97 ^{bcd}	2,3 ^b	3,6	5,9 ^{bc}

 Zollbrück 2017, 2^e année de culture.

Clones	Huile essentielle (%)				Huile essentielle (ml/m ²)			
	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	3 ^e récolte	Moyenne	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	3 ^e récolte	Moy.
541	3,00 ^{abc}	3,95 ^c	3,59 ^{ab}	3,59 ^{ab}	2,3 ^{bc}	4,7	4,3	11,4
BLBP 02	3,38 ^a	4,40 ^{ab}	3,73 ^{ab}	3,92 ^a	2,7 ^{abc}	5,9	4,0	12,7
BLBP 04	3,13 ^{abc}	4,53 ^{ab}	3,92 ^a	3,88 ^a	2,9 ^{abc}	4,6	4,3	11,9
BLBP 35	2,73 ^{cd}	4,68 ^a	3,61 ^a	3,71 ^{ab}	2,9 ^{abc}	5,8	4,9	13,7
BLBP 47	2,93 ^{bcd}	4,25 ^{bc}	3,19 ^{bc}	3,56 ^{ab}	2,3 ^{bc}	5,7	3,8	11,9
BLBP 56	2,60 ^d	3,42 ^d	3,32 ^{abc}	3,14 ^c	3,0 ^{ab}	5,0	4,5	12,5
Mitcham JS	3,03 ^{abc}	3,93 ^c	3,00 ^c	3,36 ^{bc}	2,2 ^c	4,8	3,7	10,7
Multimentha	3,15 ^{ab}	4,29 ^{bc}	3,76 ^{ab}	3,78 ^a	3,3 ^a	5,8	4,5	13,6

 Conthey 2017, 1^{re} année de culture.

Clones	Huile essentielle (%)			Huile essentielle (ml/m ²)		
	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Moyenne	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total
541	2,76 ^b	3,34 ^{ab}	3,00 ^c	1,7 ^c	1,6 ^{bc}	3,3 ^{bc}
BLBP 02	2,88 ^b	3,25 ^{ab}	3,02 ^c	1,7 ^c	1,2 ^c	2,9 ^c
BLBP 04	2,97 ^b	3,19 ^{ab}	3,06 ^{bc}	2,0 ^{bc}	1,5 ^{bc}	3,5 ^{bc}
BLBP 35	3,89 ^a	3,18 ^{ab}	3,66 ^{ab}	3,8 ^{ab}	1,5 ^{bc}	5,3 ^a
BLBP 47	3,69 ^a	3,12 ^b	3,52 ^{ab}	4,2 ^a	1,6 ^{bc}	5,8 ^a
BLBP 56	3,67 ^a	3,24 ^{ab}	3,53 ^{ab}	3,6 ^{ab}	1,5 ^{bc}	5,1 ^{ab}
Mitcham	4,22 ^a	3,54 ^a	3,97 ^a	4,3 ^a	2,1 ^{ab}	6,4 ^a
Multimentha	3,73 ^a	3,53 ^{ab}	3,65 ^a	4,5 ^a	2,4 ^a	6,8 ^a

Tukey Test: les petites lettres indiquent les différences significatives.



Tableau 8 | Composition de l'huile essentielle de huit clones de *Mentha x piperita* à Bruson (2016. 2^e récolte), Conthey, Zollbrück et Conthey serre (2017. 1^{re} récolte). Moyennes de quatre répétitions.Bruson 2016. 2^e année de culture. 2^e récolte.

Clones	$\alpha + \beta$ -Pinène	Limonène	1,8 Cinéole	Menthone	Menthofurane	Isomenthone	Camphre	Linalol	Menthyl acétate	Isopulégol	Caryophyllène	Menthol	Pulégone	Humulène	Terpinéol	Bornéol	Pipéritone
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
541	1,26 ^a	7,36 ^b	4,18 ^a	38,15 ^d	0,19 ^{bc}	2,16 ^d	0,26 ^{cd}	0,30 ^a	2,64 ^{ab}	0,10 ^{cd}	0,54 ^c	27,26 ^a	0,27 ^b	0,10 ^{bc}	0,13 ^a	0,06 ^c	1,62 ^c
BLBP 02	1,27 ^a	7,40 ^b	4,52 ^a	37,07 ^d	0,17 ^{bc}	2,13 ^d	0,27 ^{cd}	0,29 ^a	3,17 ^a	0,13 ^{abcd}	0,53 ^c	28,84 ^a	0,25 ^{bc}	0,10 ^{bc}	0,15 ^a	0,07 ^{bc}	1,63 ^c
BLBP 04	1,24 ^a	8,47 ^c	4,63 ^a	35,80 ^d	0,14 ^{bc}	2,10 ^d	0,26 ^{cd}	0,30 ^a	2,85 ^{ab}	0,12 ^{bcd}	0,53 ^c	28,36 ^a	0,20 ^{bc}	0,11 ^{ab}	0,13 ^a	0,07 ^c	1,66 ^c
BLBP 35	0,97 ^b	0,72 ^c	3,58 ^b	52,21 ^{bc}	0,09 ^c	7,00 ^a	0,97 ^b	0,16 ^b	2,48 ^{ab}	0,17 ^{ab}	1,83 ^a	20,17 ^b	0,09 ^c	0,14 ^a	<DRL	<DRL	0,75 ^d
BLBP 47	1,04 ^b	0,76 ^c	3,40 ^{bc}	55,67 ^{abc}	0,14 ^{bc}	7,21 ^a	1,04 ^b	0,15 ^b	2,04 ^{abc}	0,17 ^a	1,60 ^a	17,89 ^b	0,12 ^{bc}	0,11 ^{ab}	<DRL	<DRL	0,82 ^d
BLBP 56	0,94 ^b	1,24 ^c	3,38 ^{bc}	50,98 ^c	0,74 ^a	4,44 ^b	0,94 ^b	0,19 ^b	1,78 ^{bcd}	0,08 ^d	1,80 ^a	19,60 ^b	0,76 ^a	0,12 ^{ab}	0,06 ^b	--	2,17 ^a
Mitcham JS	1,01 ^b	0,63 ^c	3,44 ^{bc}	59,40 ^{ab}	0,28 ^b	3,82 ^c	0,20 ^d	0,25 ^a	0,88 ^{cd}	0,14 ^{abc}	1,07 ^b	16,17 ^b	0,18 ^{bc}	0,10 ^{bc}	0,07 ^b	0,07 ^a	1,96 ^b
Multimentha	0,91 ^b	0,65 ^b	3,02 ^c	62,21 ^a	0,26 ^{bc}	3,92 ^c	0,22 ^{cd}	0,29 ^a	0,61 ^d	0,13 ^{abcd}	1,15 ^b	14,85 ^b	0,18 ^{bc}	0,08 ^c	0,06 ^b	0,07 ^{ab}	2,13 ^a

Zollbrück 2017. 1^{re} récolte.

Clones	$\alpha + \beta$ -Pinène	Limonène	1,8 Cinéole	Menthone	Menthofurane	Isomenthone	Camphre	Linalol	Menthyl acétate	Isopulégol	Caryophyllène	Menthol	Pulégone	Humulène	Terpinéol	Bornéol	Pipéritone
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
541	1,68	6,11	4,70	35,05	0,54	2,49	0,21	0,26	2,88	0,13	0,38	32,83	0,44	0,10	0,14	<DRL	1,77
BLBP 02	1,77	5,99	4,97	36,94	0,67	2,50	0,19	0,24	2,48	0,13	0,37	30,85	0,59	0,09	0,15	<DRL	1,75
BLBP 04	1,58	6,53	4,78	34,16	0,43	2,49	0,24	0,25	3,19	0,12	0,48	32,19	0,30	0,10	0,15	<DRL	1,90
BLBP 35	1,33	0,95	3,83	55,13	1,96	7,18	0,15	0,13	3,32	0,14	0,96	16,64	1,38	0,09	<DRL	0,07	0,61
BLBP 47	1,27	0,90	3,54	53,72	2,65	6,98	0,14	0,13	3,48	0,15	0,97	17,20	1,96	0,09	<DRL	0,07	0,59
BLBP 56	1,32	1,70	3,57	38,83	8,16	3,82	0,16	0,14	1,76	0,12	0,95	20,94	8,89	0,08	<DRL	<DRL	1,40
Mitcham JS	1,23	0,68	3,68	60,75	3,68	3,99	0,10	0,25	0,43	0,12	0,77	12,81	2,31	<DRL	0,09	0,08	1,34
Multimentha	1,22	0,66	2,84	64,45	3,53	4,14	0,08	0,27	0,42	0,10	0,61	12,13	2,17	<DRL	0,07	0,07	1,41

Conthey 2017. 1^{re} récolte.

Clones	$\alpha + \beta$ -Pinène	Limonène	1,8 Cinéole	Menthone	Menthofurane	Isomenthone	Camphre	Linalol	Menthyl acétate	Isopulégol	Caryophyllène	Menthol	Pulégone	Humulène	Terpinéol	Bornéol	Pipéritone
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
541	1,75	6,59	5,95	30,25	0,59	2,81	0,23	0,31	3,35	0,10	0,44	34,22	0,86	0,10	0,16	0,05	2,46
BLBP 02	1,79	6,92	6,14	29,88	0,68	2,58	0,20	0,29	3,13	0,11	0,37	34,56	0,95	0,09	0,19	0,06	2,37
BLBP 04	1,71	7,20	5,90	32,34	0,52	2,72	0,23	0,29	2,74	0,10	0,49	32,02	0,64	0,08	0,19	<DRL	2,72
BLBP 35	1,34	0,98	3,90	56,87	2,46	7,70	0,11	0,23	2,28	0,13	1,31	13,13	2,52	0,08	<DRL	0,07	0,87
BLBP 47	1,35	0,90	4,03	54,72	2,54	7,52	0,11	0,22	2,53	0,14	1,33	14,39	2,81	0,08	0,06	0,08	0,89
BLBP 56	1,20	1,54	3,37	39,72	8,24	4,18	0,11	0,19	0,94	0,10	1,22	17,00	12,19	0,07	0,07	<DRL	1,66
Mitcham JS	1,32	0,61	4,06	61,30	4,23	4,31	0,08	0,34	0,24	0,09	0,82	9,80	3,94	0,06	0,13	0,09	1,69
Multimentha	1,26	0,66	3,70	60,58	3,73	4,39	0,09	0,41	0,28	0,10	0,81	11,41	3,67	0,07	0,12	0,08	1,80

Tukey Test: les petites lettres indiquent les différences significatives.

Conthey serre 2017. 1^{re} récolte

Clones	α + β -Pinène	Limonène	1,8 Cinéole	Menthone	Menthofurane	Isomenthone	Camphre	Linalol	Menthyl acétate	Isopulégol	Caryophyllène	Menthol	Pulégone	Humulène	Terpinéol	Bornéol	Pipéritone
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
541	1,04	4,52	4,59	34,32	1,74	2,90	0,08	0,25	1,45	0,10	0,57	35,12	0,16	0,07	0,12	<DRL	2,60
BLBP 02	1,34	5,02	5,73	34,84	1,82	2,75	0,09	0,24	1,22	0,10	0,67	31,73	0,91	0,06	0,15	<DRL	2,61
BLBP 04	1,19	6,01	5,30	27,53	1,56	2,77	0,09	0,20	2,05	0,09	0,67	37,69	0,52	0,08	0,13	<DRL	2,82
BLBP 35	0,80	0,54	3,16	48,28	4,94	6,13	0,06	0,20	3,06	0,13	3,22	14,89	3,47	0,18	0,07	0,07	0,77
BLBP 47	1,10	0,67	4,79	47,18	5,12	6,22	<DRL	0,25	2,56	0,17	1,88	17,41	3,82	0,11	0,07	0,08	0,61
BLBP 56	0,92	2,42	4,13	28,58	7,53	3,08	0,07	0,22	1,16	0,12	1,83	25,21	12,79	0,12	0,08	<DRL	1,65
Mitcham JS	0,98	0,42	4,58	52,88	6,83	3,57	<DRL	0,42	0,51	0,12	1,41	12,03	5,77	0,09	0,16	0,09	1,22
Multimentha	0,55	0,33	2,53	54,90	7,30	3,47	<DRL	0,38	0,44	0,09	1,67	10,73	7,66	0,09	0,14	0,08	1,24

pas été jugé différent de '541' (tabl. 9). Ce résultat logique vu la proximité de leur profil aromatique permet de conclure que 'BLBP 02' et 'BLBP 04' (chénotype 1) présentent une alternative possible au '541'. 'BLBP 35' (chénotype 2) a été discriminé significativement par les dégustateurs, mais a été moins apprécié que le '541' malgré sa bonne acceptation dans un test similaire en Allemagne (Bomme *et al.* 2001). En revanche, 'BLBP 56' (chénotype 3) a eu la préférence des panélistes, probablement en relation avec une teneur en menthone plus faible et une teneur en menthol plus élevée que les autres clones de menthe noire, et ce malgré son profil aromatique caractérisé par des teneurs en menthofurane et en pulégone importantes (tabl. 7). Ce clone avait également plu aux dégustateurs allemands. 'Multimentha' (chénotype 4) n'a pas plu au jury. Quatre des sept dégustateurs, qui ont différencié la tisane de 'Multimentha' de celle de '541', ont préféré ce dernier (tabl. 9). Ce résultat semble lié à sa faible teneur en menthol, malgré un rapport cinéol/limonène idéal au regard de Ph Eur. Il est raisonnable de postuler que les résultats obtenus dans cette dégusta-

tion soient transposables pour les autres génotypes du même chémotype. Le bon feed-back des dégustateurs pour 'BLBP 56' illustre le fait que les clones destinés à la production de drogue sèche pour un usage agroalimentaire ne sont pas forcément identiques à ceux destinés à la production d'huile essentielle.

Sensibilité à la rouille

Historiquement, les cultivateurs suisses avaient opté pour '541' en raison de sa meilleure tolérance à la rouille (*Puccinia menthae*), en comparaison avec le clone italien 'Italo-Mitcham', très sensible. Les génotypes *forma palescens* 'BLBP 02' et 'BLBP 04' sont décrits comme peu ou légèrement sensibles à ce pathogène, tandis que les clones *forma rubescens* 'BLBP 35', 'BLBP 47' et 'BLBP 56' sont décrits comme résistants à la rouille (Bomme 2001). Cela s'est confirmé au fil de nos différents essais: aucun des génotypes évalués ne s'est révélé sensible à ce pathogène. De 2013 à 2017, aucune attaque de rouille n'a été constatée, sauf en 2016 à Zollbrück, où les trois clones *forma palescens* ont présenté quelques sporulations de rouille sur la

Tableau 9 | Analyse sensorielle (test 2/5) de tisanes des quatre chémotypes de *Mentha x piperita* en comparaison au clone '541' par 21 panelistes. Nombre de réponses correctes et préférences des dégustateurs.

Clones comparés au standard '541'	Nombre de dégustateurs	Nombre de réponse correctes	Différence significative (p-value < 0,05)	Préférence clone comparé*	Préférence clone '541'*	Sans préférence*
BLBP 04	20	2	non (p>0,05)	0	1	1
BLBP 35	21	6	oui (p<0,05)	1	3	2
BLBP 56	21	7	oui (p<0,01)	5	1	1
Multimentha	21	7	oui (p<0,01)	2	4	1

*Préférence des dégustateurs ayant répondu correctement



Tableau 10 | Symptômes de rouille par feuille de huit clones de *Mentha x piperita* à Conthey le 31 octobre 2018. Moyenne de quatre répétitions.

Clones	Nombre de sporulations (tâches) de rouille par feuille		
	Moyenne	Maxi	Mini
541	21,5 ^a	270	0
BLBP 02	8,73 ^{ab}	76	0
BLBP 04	9,83 ^{ab}	67	0
BLBP 35	0,25 ^{ab}	5	0
BLBP 47	0,05 ^b	1	0
BLBP 56	0,05 ^b	1	0
Mitcham JS	0,00 ^b	0	0
Multimentha	0,08 ^{ab}	3	0

Tukey Test: les petites lettres indiquent les différences significatives.

face adaxiale des feuilles en fin de saison. Cette attaque, bien que relativement anodine, peut en partie expliquer le rendement plus faible de ces géotypes dans ce site. Afin de confirmer cette observation, une nouvelle évaluation de la rouille a eu lieu en toute fin de saison, le 31 octobre 2018, à Conthey. Sur 40 feuilles contrôlées par clones en fin de cycle végétatif, seul le 'Mitcham JS' était totalement exempt de symptôme. En moyenne, les trois clones de menthe blanche se sont révélés moins résistants à la rouille que les clones de menthe noire (tabl. 10).

Surface foliaire, nombre de trichomes et mesure de la photosynthèse

Afin de mieux comprendre la formation du rendement en biomasse et en huile essentielle, des mesures de la surface foliaire, du nombre de trichomes et de la

Tableau 11 | Surface foliaire par pot [cm²] et nombre de trichomes par mm² de huit clones de *Mentha x piperita* cultivés en pots en serre à Conthey en 2017. Moyenne de quatre répétitions.

Clones	Surface foliaire (cm ² par pot)			Nombre de trichomes (par mm ²)	Huile essentielle (%)
	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total		
541	350 ^c	289	639 ^{ab}	5,06 ^c	1,78 ^d
BLBP 02	402 ^c	330	732 ^{ab}	5,18 ^c	1,82 ^{cd}
BLBP 04	486 ^{abc}	409	895 ^a	5,08 ^c	1,81 ^d
BLBP 35	427 ^c	269	697 ^{ab}	6,17 ^{bc}	2,19 ^{abc}
BLBP 47	603 ^{ab}	317	920 ^a	8,39 ^{ab}	2,49 ^a
BLBP 56	429 ^{bc}	268	697 ^{ab}	7,63 ^{abc}	2,22 ^{ab}
Mitcham JS	650 ^a	261	911 ^a	9,50 ^a	2,25 ^{ab}
Multimentha	335 ^c	261	596 ^b	6,78 ^{abc}	1,99 ^{bcd}

Tukey Test: les petites lettres indiquent les différences significatives.

Tableau 12 | Surface foliaire [cm² par m²] et nombre de trichomes par mm² de huit clones de *Mentha x piperita* cultivés au champ à Conthey en 2017. Moyenne de quatre répétitions.

Clones	Surface foliaire (cm ² par m ²)			Nombre de trichomes (par mm ²)	Huile essentielle (%)
	1 ^{re} récolte	2 ^e récolte	Total		
541	29680	14431 ^{bc}	44111	6,47	2,76 ^b
BLBP 02	24635	11218 ^c	35854	7,65	2,88 ^b
BLBP 04	28097	13412 ^{bc}	41509	5,64	2,97 ^b
BLBP 35	22054	12906 ^{bc}	34960	7,00	3,89 ^a
BLBP 47	27460	17563 ^{abc}	45023	6,32	3,69 ^a
BLBP 56	26922	16323 ^{abc}	43245	8,49	3,67 ^a
Mitcham JS	25091	20090 ^{ab}	45180	8,76	4,22 ^a
Multimentha	27439	22745 ^a	50183	8,48	3,73 ^a

Tukey Test: les petites lettres indiquent les différences significatives.

photosynthèse ont été réalisées à Conthey, en serre et au champ, dans le cadre d'un travail de master (Erambamooty 2017). Dans l'essai en pot, en serre, la plus grande surface foliaire par pot a été mesurée sur 'BLBP 47', 'BLBP 04' et 'Mitcham JS'. Au champ, seul 'Multimentha' lors de la seconde récolte se distingue significativement des autres génotypes (tabl. 11 et tabl. 12).

Lors de la première récolte, le nombre de trichomes par mm² était sensiblement plus élevé sur les feuilles des menthes noires, de manière significative en serre pour 'Mitcham JS' et 'BLBP 47'. Ces différences s'estompaient lors de la seconde récolte, ce qui semble indiquer que la densité des trichomes est davantage influencée par le stade phénologique ou par des facteurs environnementaux que par le génotype. Logiquement, la corrélation entre le nombre de trichomes et la teneur en huile essentielle en serre a été établie ($r = 0,849$). Mais elle était nettement moins évidente au champ ($r = 0,575$), peut-être en raison d'un échantillonnage moins précis.

A Conthey, les mesures de photosynthèse nette réalisées lors de la seconde récolte n'ont pas démontré de relation claire entre l'activité mesurée et la production en biomasse (tabl. 13). Malgré un taux de photosynthèse nette significativement plus faible que 'BLBP 47', '541', 'Mitcham JS' et 'Multimentha' se sont révélés performants tant sur la production en biomasse qu'en huile essentielle lors de la récolte qui a suivi les mesures. Comme il n'y a eu qu'une date de mesures et en l'absence d'analyse directe de la chlorophylle en parallèle, il n'a pas été possible d'établir la raison de cette

absence de relation. Des mesures répétées seraient nécessaires pour approfondir les connaissances «photosynthèse/formation du rendement».

Conclusions

- En Suisse, pour la production en zone de montagne, les clones recommandés sont, pour les *f. palescens*, '541' et BLBP 02' et, pour les *f. rubescens*, 'Multimentha' et 'BLBP 56'. Dans les conditions climatiques plus chaudes de plaine ou sous serre, 'BLBP 47' et 'Mitcham JS' sont également indiqués.
- La teneur en huile essentielle est davantage influencée par la date ou le stade phénologique de récolte que par le génotype. A contrario, la composition de l'huile essentielle dépend d'abord du génotype. Les facteurs environnementaux ou pédoclimatiques sont perceptibles, mais relativement modestes.
- Le choix du génotype doit répondre aux demandes du marché. En Suisse, pour une production à l'intention des industries agroalimentaires, le clone '541' demeure le standard en raison de son profil aromatique. Au besoin, l'accession 'BLBP 02' pourrait être une alternative.
- Dans les situations climatiques où la pression de la rouille est élevée, les clones de *f. rubescens* sont préférables. ■

Remerciements

Les auteurs remercient la famille Christian Schütz à Zollbrück pour la mise à disposition de leur parcelle, M. Thomas Aeschlimann et la firme Ricola pour leur soutien à la recherche et M. Peter Studer (Kennel AG) pour sa collaboration aux dégustations sensorielles.

Tableau 13 | Taux de photosynthèse nette de huit clones de *Mentha x piperita* à Conthey au champ lors de la seconde récolte en 2017. Moyenne de quatre mesures.

Clones	Taux de photosynthèse ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
541	19,867 ^b
BLBP 02	21,192 ^{ab}
BLBP 04	22,853 ^a
BLBP 35	22,051 ^{ab}
BLBP 47	22,573 ^a
BLBP 56	21,378 ^{ab}
Mitcham JS	19,777 ^b
Multimentha	20,044 ^b

- 380 ppm de CO₂ dans l'air
- Température des feuilles ≈ 26°C
- Densité du flux de photons photosynthétiquement actifs > 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Bibliographie

- Bomme U., Feicht E. & Schilling W., 2001. Ergebnisse aus mehrjährigen Leistungsprüfungen mit ausgewählten Herkünften von Pfefferminze (*Mentha x piperita* L.). Erste Mitteilung: Erträge, Ätherisch-Öl-Gehalt, agronomische und morphologisch Merkmale. *Z. Arzn. Gew. Pfl* 6 (4), 202-208.
- Bomme U., Gatterer M., Hillenmeyer G. & Kärner C., 2005. Ergebnisse aus mehrjährigen Leistungsprüfungen mit ausgewählten Herkünften von Pfefferminze (*Mentha x piperita* L.). Zweite Mitteilung: Zusammensetzung des ätherischen Öls. *Z. Arzn. Gew. Pfl* 10 (2), 73-81.
- Bruneton J., 2009. *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales*. Edition Tec & DOC, Lavoisier, 4^e édition. 1269 p.
- Carlen C. & Carron C.-A., 2017. PRIF 2017. Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse. 15/ Fertilisation des plantes aromatiques et médicinales. Agroscope. *Recherche Agronomique Suisse* 8 (6): publication spéciale.
- Clark R.J. & Menary R.C., 1980. Environmental effects on peppermint (*Mentha x piperita* L.). 1. Effect of day length, photon flux density, night temperature and day temperature on the yield and composition of peppermint oil. *Aust. J. Plant Physiol.* 7: 685–692.
- Dachler M. & Pelzmann H., 2017. Arznei- und Gewürzpflanzen. *Lehrbuch für Anbau, Ernte und Aufbereitung*. Avbuch im Cadmos Verlag, München. 332 p.
- Erambamoorthy V., 2017. Comparison of 8 clones of *Mentha x piperita* L. cultivated in 3 different environmental conditions in Switzerland. Msc-Thesis. ETH Zurich, Institute of Agricultural Sciences, Group of Crop Science. 48p.
- Iteipmai, 2011. Fiche technique: Menthe poivrée. 23 p.
- Oroian C., Covrig I., Odagiu A., Mălinas C., Moldovan C. & Fleşeriu A., 2017. Effects of cultivation systems and environmental conditions on peppermint (*Mentha x piperita* L.) biomass, yield and oil content. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 45 (2), 576-581.
- Rey C., 1997. La culture de la menthe en Suisse. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 29 (3), 177-178.
- Roberts D., 2001. Mint Plant 'Cascade Mitcham'. United States Plant Patent USOOPP11788P2. Accès: <https://patentimages.storage.googleapis.com/81/c9/d2/7c10508a415e63/USPP11788.pdf> [8.11.2018]
- Rohloff J., Dragland S., Mordal R. & Iversen T.-H., 2005. Effect of harvest time and drying method on biomass production, essential oil yield, and quality of peppermint (*Mentha x piperita* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (10), 4143-4148.
- Teuscher E., Anton R. & Lobstein A., 2005. *Plantes aromatiques, épices, aromates, condiments et huiles essentielles*. Tec & Doc Lavoisier. 522 p.
- Vouillamoz J., D'Anna E., Carron C.-A. & Baroffio C., 2013. *Mentha x piperita* '541': Certification ADN de la menthe poivrée en Suisse par RAPD. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 45 (5), 284-288.

Summary

In Switzerland, since about 30 years, peppermint (*Mentha x piperita* L.) growers have been using the '541' clone, originally from Crimea, chosen for its productivity, its high essential oil content and its tolerance to rust (*Puccinia menthae*).

However, for a decade, producers have worried about a downward trend in the performance of this genotype. To verify the veracity of these claims, eight clones of peppermint were compared between 2013 and 2017. Four experiments in the field and one in a greenhouse were performed. Compared to the '541' standard, two *forma palescens* genotypes ('BLBP02', 'BLBP04'), as well as five *forma rubescens* genotypes ('BLBP35', 'BLBP47', 'BLBP56', 'Mitcham JS' and 'Multimentha') were selected. The main evaluation criteria were yield of dry matter and leaves, percentage of leaves, content and composition of essential oil, organoleptic quality, and susceptibility to rust. In mountainous climatic conditions, *f. palescens* genotypes '541' and 'BLBP 02' as well as *f. rubescens* genotypes 'Multimentha' and 'BLBP 56' proved to be the most productive. In the lowland climate, warmer and under glass, 'BLBP 47' and 'Mitcham JS' proved to be successful. The essential oil content varied according to seasonal, environmental and phenological factors, whereas the composition of the essential oil was more influenced by the genotype. Principal Component Analysis (PCA) identified four aromatic profiles. In the form of herbal tea, tasters could discriminate between the different chemotypes. 'BLBP 56' was preferred to '541', in contrast to the other two aromatic profiles. None of the tested clones were very susceptible to rust, but *f. rubescens* showed better resistance to this pathogen. In conclusion, choice of genotype must meet market demand. In Switzerland, for the production in agri-food industries, clone '541' remains the standard because its aromatic profile is in line with customers' expectations and its productivity is high, especially in mountains regions.

Key words: *Mentha x piperita*, genotype, chemotype, yield, essential oil, menthol

Zusammenfassung

In der Schweiz verwenden die Produzenten von Pfefferminz (*Mentha x piperita* L.) seit etwa 30 Jahren den aus der Krim stammenden Klon ‚541‘, der aufgrund seiner Produktivität, seines hohen Gehalts an ätherischen Ölen und seiner Rosttoleranz (*Puccinia menthae*) ausgewählt wurde.

Seit einigen Jahren sind die Produzenten wegen des Rückgangs des Ertrages dieser Klons besorgt. Um die Richtigkeit dieser Behauptungen zu überprüfen, wurden zwischen 2013 und 2017 acht Pfefferminzklone verglichen. Es wurden vier Versuche auf dem Feld und einer im Gewächshaus durchgeführt. Neben dem Standard ‚541‘, wurden zwei *forma palescens* Genotypen (‚BLBP02‘, ‚BLBP04‘) sowie fünf *forma rubescens* Genotypen (‚BLBP35‘, ‚BLBP47‘, ‚BLBP56‘, ‚Mitcham JS‘ und ‚Multimentha‘) ausgewählt. Die wichtigsten Bewertungskriterien waren der Ertrag, der Anteil der Blätter, der Gehalt und die Zusammensetzung des ätherischen Öls, die organoleptische Qualität und die Rostanfälligkeit. Bei klimatischen Bedingungen in Berggebiet mit höheren Lagen sind sich die *f. palescens* Genotypen ‚541‘ und ‚BLBP 02‘ sowie die *f. rubescens* Genotypen ‚Multimentha‘ und ‚BLBP 56‘ als die produktivsten erwiesen. In wärmeren Gebieten und im Gewächshaus, erwiesen sich ‚BLBP 47‘ und ‚Mitcham JS‘ als erfolgreich. Der Gehalt an ätherischen Ölen schwankte je nach saisonalen, umweltbedingten und phänologischen Faktoren, während die Zusammensetzung des ätherischen Öls stärker vom Genotyp beeinflusst wurde. Die Hauptkomponentenanalyse (PCA) identifizierte vier aromatische Profile. In Form von Kräutertee unterschieden die Prüfer die verschiedenen Chemotypen. Im Gegensatz zu den beiden anderen aromatischen Profilen wurde ‚BLBP 56‘ gegenüber ‚541‘ bevorzugt. Keiner der getesteten Klone war sehr rostanfällig, aber der *f. rubescens* zeigte eine bessere Resistenz gegen diesen Erreger. Zusammenfassend kann für den Anbau im Schweizer Berggebiet weiterhin der Klon ‚541‘ aufgrund seines aromatischen Profils, das den Erwartungen entspricht, und der hohen Produktivität empfohlen werden.

Riassunto

In Svizzera, da circa 30 anni, i coltivatori di menta piperita (*Mentha x piperita* L.) hanno utilizzato il clone ‚541‘, originario della Crimea, scelto per la sua produttività, il suo alto contenuto di olio essenziale e la sua tolleranza alla ruggine (*Puccinia menthae*).

Tuttavia, per un decennio i produttori si sono preoccupati di una tendenza al ribasso nelle prestazioni di questo genotipo. Per verificare la veridicità di queste affermazioni, sono stati confrontati otto cloni di menta piperita tra il 2013 e il 2017. Quattro esperimenti sul campo e uno in una serra hanno avuto luogo. Rispetto allo standard ‚541‘, due genotipi di *forma palescens* (‚BLBP02‘, ‚BLBP04‘), nonché cinque genotipi di *forma rubescens* (‚BLBP35‘, ‚BLBP47‘, ‚BLBP56‘), ‚Mitcham JS‘ e ‚Multimentha‘ sono stati selezionati. I principali criteri di valutazione erano la resa della sostanza secca e delle foglie, la percentuale di foglie, il contenuto e la composizione dell’olio essenziale, la qualità organoleptica e la suscettibilità alla ruggine. In condizioni climatiche montuose, i genotipi *f. palescens* ‚541‘ e ‚BLBP 02‘ nonché i genotipi *f. rubescens* ‚Multimentha‘ e ‚BLBP 56‘ si sono dimostrati i più produttivi. Nel clima di pianura, più caldo e sotto vetro, ‚BLBP 47‘ e ‚Mitcham JS‘ hanno avuto successo. Il contenuto di olio essenziale variava in base a fattori stagionali, ambientali e fenologici, mentre la composizione dell’olio essenziale era più influenzata dal genotipo. Principal Component Analysis (PCA) ha identificato quattro profili aromatici. Sotto forma di tisana, gli assaggiatori hanno discriminato i diversi chemiotipi. ‚BLBP 56‘ è stato preferito a ‚541‘, in contrasto con gli altri due profili aromatici. Nessuno dei cloni testati era molto suscettibile alla ruggine, ma i *f. rubescens* hanno mostrato una migliore resistenza a questo agente patogeno. In conclusione, la scelta del genotipo deve soddisfare le esigenze del mercato. In Svizzera, per la produzione nelle industrie agroalimentari, il clone ‚541‘ rimane lo standard per il suo profilo aromatico che è in linea con le aspettative e per la sua alta produttività in particolare in regioni di montagne.



Réalisation de places de lavage et de remplissage phyto



Biobed collectif



Ultrafiltration carbon actif



Biobac CCD



Osmofilm

 **ONLINE SHOP** ccdsa.ch/shop


 Chemin de l'autoroute 5, 1926 FULLY
 Tél. 027 746 33 03 - Fax 027 746 33 11
www.ccdsa.ch Mail : info@ccdsa.ch

Tracteur à chenilles Loeffel Viti Plus avec broyeur à sarments Dragone



LOEFFEL
MACHINES + VITICOLES

LOEFFEL & CIE 2017 Boudry
Construction, vente, location,
entretien de matériel viticole
Service personnalisé

www.loeffelsnc.ch
contact@loeffelsnc.ch
+41(0)32 842 12 78

RUBI c'est du liège, une chimie douce et rien d'autre...

Bouchon micro grains composé de pulpe de liège fabriqué par moulage individuel

- Fraîcheur des arômes
- Finesse
- Neutralité
- Sécurité
- Pas de goût de bouchon




JEAN-PAUL GAUD SA
 Rue Antoine-Jolivet 7
 CP 1212 - 1211 Genève 28
 Tél. +41 (0) 22 343 79 42


www.gaud-bouchons.ch

Agroscope | Ecole d'ingénieurs de Changins

Livre cépages et glossaire ampélographique

CÉPAGES

Principales variétés de vigne cultivées en Suisse



Ouvrage de 130 pages en couleur, enrichi de nombreuses photographies exclusives décrivant 57 cépages cultivés en Suisse (selon standards OIV).

Des publications essentielles pour les professionnels du monde viticole ainsi que pour tous les amateurs passionnés par la vigne et le vin.

	De 1 à 9 exemplaires	A partir de 10 exemplaires	Pour les écoles
Livre Cépages et Glossaire	64.–	61.–	57.–
Glossaire seul	11.–	10.–	10.–

Les prix sont indiqués en francs suisses, frais de port en sus

Commandez maintenant: AMTRA
 Marinette Badoux, avenue des Jordils 5, 1006 Lausanne
www.revuevitiarbohorti.ch info@revuevitiarbohorti.ch, téléphone +41 21 614 04 77

Dr Alexandre Mondoux: l'économie vitivinicole

Depuis le 1^{er} août 2017, Dr Alexandre Mondoux est professeur et responsable du secteur économie et gestion à la Haute Ecole de CHANGINS. Il a également repris les rênes de l'Observatoire suisse du marché des vins (OSMV), aujourd'hui centre de compétences de CHANGINS.

Né à Locarno, Alexandre Mondoux grandit au Tessin dans une famille romande. Après un bachelor et un master en économie politique à l'Université de Fribourg, il enseigne l'économie dans plusieurs établissements tessinois, dont l'école des sportifs d'élite de Tenero. En 2011, il intègre la Banque nationale suisse pour un stage d'une année, puis revient au Tessin et travaille comme économiste pour le canton. En 2014, il s'oriente vers l'économie viticole en décrochant un poste de doctorant à l'EPFZ, avec qui la Haute Ecole de viticulture et œnologie de CHANGINS développe l'Observatoire suisse du marché des vins (OSMV).

Comment avez-vous (ré)organisé le module économie et gestion (ecogest) et comment concevez-vous son enseignement?

Quand j'ai repris le poste de professeur d'économie ainsi que la responsabilité des modules ecogest, l'étude de cas «Château Business» constituait déjà un fil rouge. J'ai bien entendu repris l'idée d'un concept de projet élaboré avec mes collègues pour les étudiants dans le contexte d'une entreprise réelle. Ainsi, la collaboration avec tous les intervenants des modules s'est renforcée. Aujourd'hui, «Château CHANGINS» réunit tous les professeurs, internes et externes impliqués dans l'enseignement, de la conception d'une gamme de vin à sa commercialisation.

Concrètement, cela signifie un projet pour tous?

Exactement. «Château CHANGINS» est en lien direct avec une micro-entreprise composée par les étudiants, autour de laquelle nous abordons tous les thèmes: économie et gestion, positionnement sur le marché, finances et comptabilité, assurances, droit, marketing, sans oublier la mise en bouteille et l'étiquetage. Je souligne l'importance de la collaboration avec l'équipe de la cave didactique. L'objectif est d'amener tous les aspects théoriques de l'économie et de les mettre en pratique dans le contexte viticole.

Comment vous sentez-vous dans ce poste à CHANGINS?

Je m'y sens parfaitement bien, car c'est très varié. Les



«A Changins, j'ai la chance de découvrir le monde passionnant de la viticulture et de l'œnologie. Pouvoir mettre mon expertise de l'économie au service de ce secteur et transmettre ce savoir aux étudiants constituent une grande motivation.»

relations avec les autres collègues enseignants sont très bonnes; tous partagent cette nécessité d'intégrer l'économie à l'enseignement de la viticulture et de l'œnologie. Par ailleurs, mes activités en tant que responsable de l'Observatoire suisse du marché des vins m'apportent une multitude d'éléments que je peux intégrer dans l'enseignement de l'économie, et les étudiants apportent également leurs idées.

Parvenez-vous également à mener des projets de recherche?

Actuellement, mes projets de recherche se résument à des collaborations avec des professeurs du réseau HES et des présentations lors de congrès scientifiques. La présentation d'un nouvel outil économétrique pour la fixation des quotas de production lors de l'OIV à Genève a suscité beaucoup de réactions enthousiastes. Les mandats que reçoit l'OSMV comportent une partie de recherche pour laquelle je travaille avec mon équipe de collaborateurs scientifiques, qui possèdent des compétences pointues et complémentaires.

Quels défis majeurs identifiez-vous dans vos activités?

Il est primordial que tous les acteurs du monde vitivinicole saisissent le rôle de l'analyse économique en tant qu'outil d'aide à la décision politique. Que ce soit pour imposer des alternatives aux herbicides ou pour fixer des quotas de production, la variable économique est déterminante. En plus, je tiens à faire de la recherche en économie viticole suisse qui tienne compte du contexte international. Par exemple, comment étudier les déterminants des prix des vins suisses sans tenir compte du contexte international? Et, bien entendu, je souhaite continuer de dispenser un enseignement ancré dans la réalité! ■

Denise Cugini, responsable relations publiques et communication

Pour une diversification innovante: les cultures truffières

Initiées en Suisse, il y a une quinzaine d'années, par la Pépinière de Genolier, les cultures truffières produisent maintenant leurs premières pépites. A ce jour 30% des vergers mis en place sont entrés en production.

Une culture respectueuse de l'environnement

Pour se développer, la truffe a besoin de

- Sol calcaire (pH sup. 7,3);
- Sol drainant;
- Présence de calcaire actif.

Ce type de sol se rapproche grandement des sols viticoles de nos régions. L'altitude maximale pour la truffe de Bourgogne est de 900 à 1000 m, alors qu'elle se limite à celle des vignes pour la truffe du Périgord. A noter que cette culture ne nécessite aucun apport d'engrais et aucun traitement phytosanitaire, ce qui en fait une culture écologique. Le choix des végétaux se fait en fonction de la situation.



Pour la truffe du Périgord, on utilisera de préférence le chêne pubescent, le chêne vert ou le charme.

Pour la truffe de Bourgogne, on aura le choix entre le noisetier, le chêne sessile, le charme, le tilleul ou le hêtre.

Les plants mycorhizés sont issus d'une production spécifique. Pour cela, des truffes sont prélevées localement en truffières naturelles et sont associées aux systèmes racinaires de jeunes plants issus de semences récoltées sur des plants locaux. Cette notion d'origine est à nos yeux primordial. Les plantes sont ensuite contrôlées de façon à s'assurer de l'authenticité variétale.



Une véritable culture

L'implantation de ces arbres pourra soit se faire, en lignes espacées de 3 à 5m soit en bosquet en association avec des plantes accompagnatrices, telles que genévrier, lavande, soit en haie ou encore en tenant compte de certains principes de biodynamie. La plantation interviendra en octobre-novembre ou mars-avril. Un paillage biodégradable à la plantation permet de tenir le plant au frais et de s'affranchir du désherbage au pied des arbres.

Par la suite, quel que soit le type de truffe, le sol devra être aéré (sur les 10 à 15 premiers centimètres en février/mars). Ce travail pourra se faire de façon manuelle (à la grelinette), ou mécaniquement pour les surfaces plus importantes. Les arbres mycorhizés avec la truffe du Périgord demandent à être taillés régulièrement afin de les nanifier (maximum 2 m de haut). L'ensemble de ces travaux culturels, représente 150 à 250 h/an/hectare.

Un service à la carte

Selon votre souhait, la Pépinière de Genolier peut intervenir à différents niveaux:

Avant projet: visite du futur site de plantation, analyse pédologique, prélèvement d'échantillons de terre pour analyses physiques et chimiques, transmission des résultats et interprétations, premières évaluations administratives. But: vérifier la faisabilité du projet.

Contrat Plants assistance: Un suivi personnalisé pourra être assuré pendant les deux premières années, assistance à la préparation du sol avant plantation, choix et réservation des plants truffiers, élaboration d'un plan de plantation, préconisation de taille et travail du sol. But: optimiser tous les paramètres (de la plantation à la récolte) afin de maximiser la probabilité de production.

Pour avoir un ordre d'idée de production, compter ± 30 kg/ha.

Conclusion: «vigne et truffes»

On ne peut espérer une meilleure synergie: tous les ingrédients sont réunis! Imaginez une animation où vous emmenez vos clients à la découverte de la truffe dans votre propre verger!

Ensuite le passage en cave pour découvrir les associations vins et truffes et pourquoi pas terminer par quelques recettes à base de truffes, dans l'ambiance chaleureuse de votre carnotzet.

C'est cette expérience et cette passion que je souhaite partager avec vous, en vous accompagnant tout au long de ce fabuleux projet. En attendant, je vous donne rendez-vous soit sur notre site internet soit au Marché de Bonvillars, le 26 octobre.

www.plants-truffiers.ch

Deux variétés de truffes à cultiver en Suisse**Truffe noire (du Périgord)**

Tuber melanosporum

Truffe de soleil

- Arbre maintenu par la taille à 1,50 à 2m
- 300 à 400 pl/ha
- Récolte de fin décembre à mi-mars (au bout de 5-6 ans)

**Truffe d'automne**

Tuber uncinatum

Truffe d'ombre

- Arbre ramifié, en forme libre
- 600 à 800 pl/ha
- Récolte de septembre à mi-décembre (au bout de 8-9 ans)



PÉPINIÈRE DE GENOLIER

F. Blondel, tél. 079 626 88 82

pepiniere.genolier@lafortestiere.ch – www.plants-truffiers.ch

**... Nous multiplions votre avenir**

Hybridation • Sélection • Multiplication • Conseil • Plantation • Suivi

Réservez maintenant les plants adaptés à vos projets!

- Cépages classiques
- Nouvelles variétés résistantes
- Grand choix de porte-greffes
- Plants haute tige

Pépinières Borioli

Chemin du Coteau 1 • 2022 BEVAIX • Tél. 032 846 40 10 • Mobile 079 240 67 43 • Fax 032 846 40 11
info@multivitis.ch • www.multivitis.ch

Sercadis®

L'innovation pour
les pommes de terre,
l'arboriculture et
la viticulture.



 **BASF**

We create chemistry

*** pour 27 Fr./ha max. en viticulture (0.0095 %, 0.15 l/ha Sercadis®) :**

- La puissance contre l'oïdium (Erysiphe n.)
- Action contre la black rot (Guidnardia bidwellii)
- Excellente sélectivité sur tout cépage/Fiable par tous les temps

Utilisez les produits phytosanitaires avec précaution. Avant toute utilisation, lisez toujours l'étiquette et les informations sur le produit. Tenez compte des avertissements et des symboles de mise en garde.

BASF Schweiz AG · Protection des plantes · Klybeckstrasse 141 · 4057 Basel · phone 061 636 8002 · agro-ch@basf.com · www.agro.basf.ch