

# Augmentation des cinétiques de diffusion des composés de la pellicule des raisins rouge et blanc par des champs électriques pulsés / Increased diffusion kinetics of red and white grape skin compounds by pulsed electric fields

F. Davaux<sup>1</sup>, J.-B. Leroy<sup>2</sup>, L. Royant<sup>2</sup>, et S. Marchand<sup>3</sup>

<sup>1</sup> IFV – Institut Français de la Vigne et du Vin, 81310 Lisle sur Tarn, France

<sup>2</sup> Leroy Biotech, 31650 Saint-Orens de Gameville, France

<sup>3</sup> Bucher-Vaslin, 49290 Chalonnes sur Loire, France

**Abstract.** In recent years, Pulsed Electric Field (PEF) technology has been developing in laboratories and is starting to be established in the industry, mainly in the agri-food sector. So far all experimentations on the use of PEF in the wine industry was carried out at the laboratory scale on some kilograms of grapes, or liters of wines. Since 2015, we are studying the interest of the use of PEF on grape polyphenols extraction on a semi-industrial scale of 2 tons per hour. The first tests were carried out by comparing the PEF technology to a control, and a conventional thermovinification with liquid phase vinification and traditional vinification with different fermentation times. The first results obtained are encouraging. Vinified in the liquid phase, the grapes treated with PEF give wines with a color intensity of 20 to 30% higher than the control and a higher TPI of 7 to 17%. In the liquid phase, the treatment of the harvest by PEF does not make it possible to obtain the extraction level of the thermovinification. After a short maceration of 3 days, the polyphenols extraction level is similar to the thermovinification, and greater after 14 days, and so is the color (respectively +12 and +16%). No change in IBMP content was observed. The wines resulting from treatment of the harvest by PEF do not have the aromatic profile of thermovinification wines. The PEF has a fruity character comparable to the control and accentuates the aromatic characteristics of the grape variety. The wine are often judged less aggressive and astringent by reinforcing the perception of sweetness and full bodied. A few tests in white grape harvest by PEF, shows a significant gain of the thiols and terpenols.

## 1. Introduction

Depuis quelques années, l'utilisation de Champs Électriques Pulsés (CEP) est expérimentée dans la filière œnologique [1,2] avec pour objectif d'améliorer l'extraction des polyphénols lors de la vinification en rouge [3,4], et d'assurer la stabilité microbiologique des moûts [5,6] et des vins [7].

Jusqu'ici, presque toutes ces expérimentations étaient réalisées en condition de laboratoire [8,9] sur quelques kilogrammes de raisins ou quelques litres de vin tout au plus. Depuis 2015, l'IFV teste un pilote semi-industriel, permettant le traitement de la vendange par des CEP, avec un débit de 1 à 2 t/h.

La technique des CEP est basée sur l'application d'un champ électrique haute tension (0.3–80 kV/cm) sous forme de courtes impulsions [10,11] de quelques microsecondes ( $\mu$ s), à plusieurs millisecondes (ms) à des fréquences variables [12], conduisant à la perméabilisation des cellules [13,14] (électro-poration) avec un chauffage minimum du produit. La valeur du champ électrique peut s'exprimer comme étant le rapport de la tension appliquée sur la distance inter-électrode, et s'exprime en kilovolts par centimètre (kV/cm). Lorsque les

cellules biologiques sont soumises à un champ électrique, leur potentiel transmembranaire augmente jusqu'à un seuil critique, ou les phénomènes de répulsion entre les molécules chargées de la membrane cellulaire entraînent la formation de pores [15–17], ce qui accroît la perméabilité de la membrane (perméabilisation). En fonction des caractéristiques du champ électrique (tension et durées des impulsions principalement, et nombre d'impulsions reçues), la formation des pores peut être réversible, permettant ainsi l'extraction des composés intracellulaires d'intérêt, ou irréversibles conduisant au vidage total du contenu cellulaire, et la mort de la cellule microbienne (stabilité microbiologique).

En fonction de l'objectif : extraction des polyphénols ou stabilité microbienne, l'efficacité du traitement dépendra des paramètres de traitement tels que l'intensité du champ électrique, le nombre d'impulsions reçues, la durée des impulsions, le type de polarité des impulsions et la température.

Pour que le traitement soit efficace, l'énergie apportée par les CEP doit être environ de 80 kJ/kg de raisins [18], à comparer aux 200 à 300 kJ/kg de raisin pour la thermovinification [19].

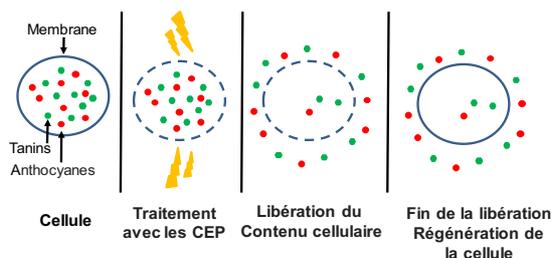


Figure 1. Principe de l'électroporation.

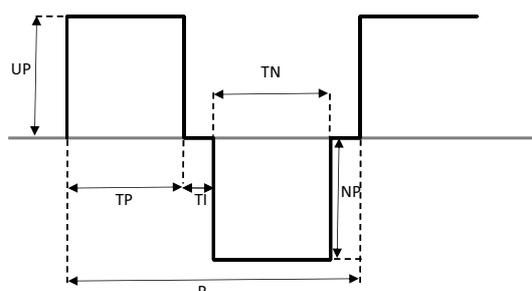


Figure 2. Forme des impulsions et caractéristiques du générateur de CEP.

Tableau 1. Caractéristiques des impulsions électriques.

Paramètres	Repère	Valeurs
Tension de travail	UP et UN	400 V/cm à 7 kV/cm
Durée des impulsions	TP et TN	100 $\mu$ S à 10 ms
Type d'impulsions		Carrée
Polarité des impulsions		Bipolaire
Durée entre impulsions	TI	100 à 500 $\mu$ S
Fréquence des impulsions	P	2 ms à 0.1 s soit 10 à 500 Hz

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Description du matériel

L'équipement de traitement de la vendange par champs électriques pulsés comprend 2 parties :

- Le générateur de champs électriques pulsés (CEP)
- Les chambres de traitement de la vendange, au nombre de 3.

Le générateur de CEP est conçu pour délivrer des impulsions bipolaires de forme carrée d'une durée pouvant atteindre 100ms sous une tension allant de 400 V/cm à 7 kV/cm. La durée des impulsions et leur fréquence peuvent être programmées en fonction des besoins de l'utilisateur. Le générateur est conçu pour un débit de vendange allant de 2 à 5 t/h en fonction de la puissance électrique disponible. Pour ces débits, le générateur présente un faible encombrement, et demande une surface au sol de moins de 2 m<sup>2</sup>.

Les chambres d'impulsions au nombre de 3 sont montées en série et sont dimensionnées pour un débit maximum de 5 t/h. Ces chambres de traitement sont traversées de façon continue et régulière par de la vendange foulée et éraflée. Elles peuvent être placées directement sur une canalisation de transfert de la vendange ou sur un support spécifique. Pour des raisons de sécurité, les chambres de traitement sont enfermées dans un tube en plastique transparent étanche et isolant.

Tableau 2. Caractéristiques des chambres d'électroporation.

Paramètres	Valeurs
Nombre de chambre de traitement	3
Type d'électrodes	Plane
Ecartement des électrodes	5 cm
Surface des électrodes	25 cm <sup>2</sup>



Figure 3. Trois chambres de traitement de la vendange montées en série.

Le suivi des essais se fait par enregistrement en continu de la consommation électrique, des paramètres de conductivité et de température avant et après traitement de la vendange par des CEP.

### 2.2. Dispositif expérimental

La vendange est préalablement éraflée et foulée avant passage dans les chambres de traitement CEP. Pour une efficacité optimale de l'application des CEP, le flux de vendange doit être régulier et continu. Les systèmes de pompage de la vendange, qui entraînent des à-coups du flux de raisins comme les pompes à clapet, sont à proscrire. Pour ces essais, nous utilisons donc une pompe à rotor hélicoïdale. Les trois chambres de traitement ainsi que le générateur de CEP mis en œuvre sont dimensionnés pour un débit de 5 t/h. L'ensemble des essais a été réalisé à 2t/h en raison de la limitation à 63 A par phase de notre installation électrique. Pour un fonctionnement à 5 t/h, la demande en puissance peut aller jusqu'à 120 A par phase. Les modalités traitées par les CEP reçoivent 30 impulsions de type bipolaire de 2 ms sous 400 V/cm qui entraînent une élévation de température de 15 à 20 °C maximum.

Les essais en rouge sont réalisés sur Cabernet Sauvignon, Malbec, Syrah et Fer-Servadou. Pour chacun des quatre cépages étudiés, les raisins sont vendangés manuellement et répartis en lots homogènes de 60 kg. En fonction des cépages étudiés, 3 à 7 lots sont constitués par essai. Sur certains cépages, les essais sont réalisés uniquement en phase liquide (Syrah, Fer Servadou) mais sur Cabernet Sauvignon et Malbec des essais en vinification traditionnelle seront également étudiés.

En vinification phase liquide, les essais sont mis en œuvre en comparant la technologie des CEP à une thermovinification classique (70 °C durant 20 mn suivie d'un pressurage) et à une modalité appelée « Blanc-CEP » qui correspond à une vendange qui a suivi les mêmes traitements que la modalité CEP, mais sans mise en marche des Champs électriques pulsés. Les modalités CEP et « Blanc-CEP » sont ensuite mises à macérer (bain Marie) durant 17 à 22h à la température de 35 °C.

Pour la modalité « blanc-CEP », ou aucune élévation de température n'est mesurée, la macération est également réalisée à 35 °C. A l'issue de cette phase de macération, les 2 modalités sont pressées dans un pressoir pneumatique. L'objectif de ce « blanc-CEP », est de mesurer l'effet des CEP indépendamment de l'élévation de température liée au traitement CEP et de la durée de macération.»

Pour la modalité thermovinifiée, le chauffage de la vendange éraflée-foulée est réalisé selon la technique



**Figure 4.** Pilote de traitement de la vendange par les CEP à 2–5 t/h.

du « bain Marie » en plongeant la cuve de vendange dans un bac d'eau bouillante. La vendange est chauffée jusqu'à 70 °C, puis maintenue à cette température durant 20 mn. Après chauffage, la vendange est pressée dans un presseur pneumatique. Après pressurage, les moûts sont enzymés puis mis à débourber 48h à 5 °C avant levurage et fermentation alcoolique, puis fermentation malolactique.

Pour les vinifications traditionnelles, après passage dans les chambres de traitement (témoin et modalité traitée), 2 durées de macération sont étudiées : 3 jours et 14 jours de cuvaison.

Un essai est réalisé sur une vendange blanche de Sauvignon. Il est réalisé de façon identique aux rouges, avec une durée de macération post traitement de 2h permettant de simuler le temps d'attente nécessaire au remplissage du presseur. Après pressurage, le moût est enzymé et mis à débourber 48h à 5 °C.

Les paramètres analytiques classiques ainsi que la mesure de la couleur, des anthocyanes et de l'Indice des Polyphénols totaux ont été suivis aux différents stades d'élaboration du vin. Des analyses de composés aromatiques sont également réalisées. Une analyse organoleptique est réalisée sur l'ensemble des vins.

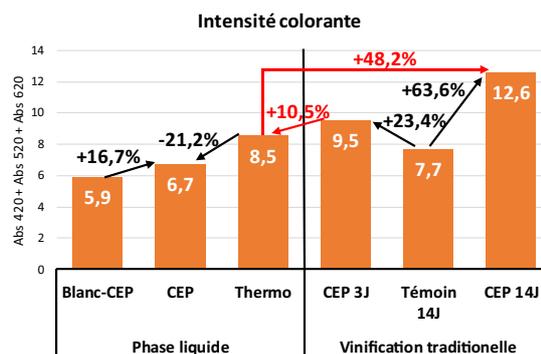
### 3. Résultats – discussion

#### 3.1. Analyses des moûts

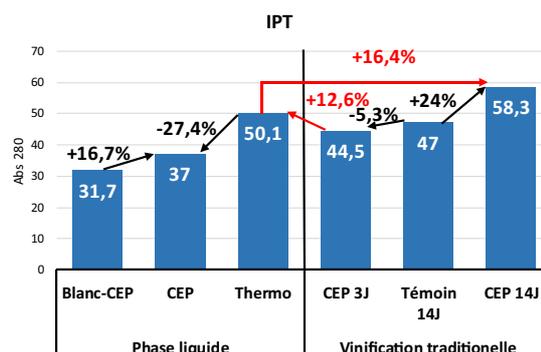
Dans la majorité des cas, on mesure une petite augmentation du pH sur les modalités traitées aux CEP en lien avec l'extraction accrue du potassium. On observe de petite variation pour les teneurs en acide tartrique et malique, sans que cela soit forcément corrélé au traitement CEP. L'extraction d'azote ammoniacal et surtout αaminée est également améliorée (6 à 24 %) dans les modalités traitées par les CEP. La conséquence des différentes extractions liées au traitement de la vendange par les CEP se traduit par une forte augmentation de la conductivité. Celle-ci peut alors être utilisée comme marqueur de l'efficacité du traitement. Dans tous les cas, la thermovinification entraîne des modifications de la composition analytique du moût, supérieures au traitement de la vendange par les CEP.

#### 3.2. Analyses de la couleur et des polyphénols des vins rouge fin FML

En vinification phase liquide, le traitement de la vendange par des CEP conduit à une augmentation de l'intensité colorante des vins de 20 à 30 % et de 10 à 30 % pour les anthocyanes totales. Cette efficacité variable du traitement CEP dépend du cépage et des niveaux de maturité différents. Vinifiés en phase liquide, les CEP ont un effet plus limité (7 à 17 %) sur l'extraction



**Figure 5a.** Influence du traitement de la vendange de Cabernet-Sauvignon par des CEP et de la technique de vinification sur la couleur des vins.



**Figure 5b.** Influence du traitement de la vendange de Cabernet-Sauvignon par des CEP et de la technique de vinification sur l'Indice des polyphénols Totaux.

des tanins (IPT), probablement en raison de la phase de macération en milieu « non alcoolique ». Vinifié en phase liquide, le traitement de la vendange avec des CEP ne permet pas encore d'obtenir un niveau d'extraction aussi élevé qu'un vin issu de Thermovinification. Les niveaux d'extraction polyphénolique et colorimétrique obtenus avec le traitement de la vendange par les champs électriques pulsés sont inférieurs d'environ 30 % par rapport aux mêmes vins obtenus par thermovinification.

Les résultats de vinification traditionnelle sur Cabernet-Sauvignon des lots CEP montrent qu'une fermentation de 3 jours en phase solide, avec une fin de fermentation en phase liquide, permet d'obtenir un vin avec une intensité colorante comparable à la thermovinification. L'intensité colorante obtenue après 3 jours de macération sur une vendange traitée aux CEP (CEP 3J), est supérieure de 16 % au Témoin avec une durée de cuvaison de 14 jours (TEM 14J). L'extraction des tanins, mesurée par l'IPT, est inférieure de seulement 3,7 % pour la modalité CEP avec 3 jours de macération (CEP 3J) par rapport au Témoin avec 14 jours de cuvaison (TEM 14J). Le gain en IPT est supérieur de 30 % entre le CEP 3 jours et 14 jours de macération.

#### 3.3. Analyses des composés aromatiques

Pour les différents cépages étudiés, le dosage des composés aromatiques n'a pas été réalisé sur l'ensemble des modalités. Seules les modalités analysées sont présentées dans les Figs. 5a et 5b.

La composition des vins en esters éthyliques est plus ou moins influencée par le traitement de la vendange par

**Tableau 3a et 3b.** Influence du traitement de la vendange sur les principales caractéristiques physico-chimiques des moûts Comparaison des champs électriques pulsés, de la thermovinification (rouge) et du témoin.

Cépage	Modalité	Degré potentiel [% Vol]	Su-cres [g/l]	Acidité totale [g/l H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]	pH	Acide tartrique [g/l]	Acide malique [g/l]
Syrah	Blanc-CEP	12.5	210	4.4	3.39	2.0	4.8
	CEP	12.8	215	4.3	3.48	2.4	4.7
	Thermo	13.0	219	4.2	3.45	2.5	4.3
Fer-servadou	Blanc-CEP	12.4	209	3.3	3.41	3.1	2.9
	CEP	12.2	205	3.3	3.43	2.8	2.8
	Thermo	12.6	212	3.8	3.42	3.1	3.1
Malbec	Blanc-CEP*	8.7	146	5.5	3.34	3.1	4.4
	CEP*	10.9	183	6.3	3.30	2.5	5.8
	Thermo*	11.2	188	5.5	3.22	1.7	5.4
Cabernet Sauvignon	Blanc-CEP*	12.7	214	3.3	3.35	2.6	2.8
	CEP*	12.6	212	3.1	3.38	2.5	2.8
	Thermo*	13.0	219	3.2	3.39	2.2	3.5
Sauvignon	Témoin CEP	13.1	220	3.7	3.18	3.1	3.5
		12.9	217	3.3	3.49	2.6	4.0

Cépage	Modalité	Azote alpha-aminé [mg/l]	Azote ammoniacal [mg/l]	Azote assimilable [mg/l]	Potassium [g/l]	Conductivité [μ S]
Syrah	Blanc-CEP	152	14	165	1.89	2610
	CEP	159	14	174	1.97	3120
	Thermo	183	16	199	2.01	3530
Fer-servadou	Blanc-CEP	148	66	214	1.60	3540
	CEP	160	63	222	1.75	3640
	Thermo	196	65	261	2.16	3640
Malbec	Blanc-CEP*	186	50	237	1.99	4150
	CEP*	229	65	294	2.33	4480
	Thermo*	245	65	309	1.99	4760
Cabernet Sauvignon	Blanc-CEP*	145	31	176	1.76	3380
	CEP*	156	32	187	1.87	3570
	Thermo*	166	28	194	1.85	4100
Sauvignon	Témoin CEP	193	69	262	1.02	2570
		254	71	325	1.41	3960

\*Echantillon congelé avant analyse.

des champs électriques pulsés. En fonction du cépage et du type de vinification, on peut mesurer de petits écarts entre modalités, mais qui ne vont pas toujours dans le même sens. Il conviendra de vérifier l'évolution de ces composés sur d'autres essais.

Le traitement de la vendange par des CEP peut, dans certains cas, augmenter la teneur des vins en β-damascénone et β-ionone, par rapport au Blanc-CEP et/ou à une thermovinification. Cette augmentation semble plus importante dans les vinifications réalisées en phase liquide.

Sur Sauvignon, les teneurs en terpénols semblent supérieures après le traitement de la vendange par les CEP. Ce cépage n'étant pas particulièrement connu pour avoir des teneurs élevées en terpénols, il conviendra de réaliser de nouvelles études sur des cépages blancs plus appropriés comme le Riesling ou le Gewurztraminer.

On ne note aucune apparition d'IBMP lors du traitement des vins par les CEP.

### 3.4. Caractéristiques organoleptiques des vins

Les vins sont dégustés par un jury entraîné de 10 personnes, composé d'œnologues et de techniciens.

Les données sont traitées par le logiciel d'analyse de dégustation Tastel V2015.

Bien que cela ne ressorte pas clairement dans l'ACP (Fig. 6), les raisins traités par des CEP et vinifiés en phase liquide ont un profil aromatique différent des thermovinifications, et ne présentent pas de notes de « cuits » et de « confits ». L'absence de chauffage élevé (35 °C maximum) lors du traitement de la vendange aux CEP, semble expliquer cette perception.

Le profil aromatique des modalités « Blanc-CEP » se caractérise par leurs intensités aromatiques au nez, leurs notes épicées et surtout de fruits rouges. En bouche, ces vins présentent une astringence et une acidité marquées.

Mis à part les notes fermentaires au nez, les lots traités par les CEP et les thermovinifications, se distinguent surtout par leurs caractéristiques en bouche. Ces vins présentent une forte intensité aromatique en bouche. Comme pour les thermovinifications, ce qui caractérise les vins traités par les CEP est la perception plus importante du gras et de la sucrosité par rapport aux modalités « Blanc-CEP ». Cela se traduit également par une plus faible perception de l'acidité et de l'astringence.

**Tableau 4.** Influence du traitement de la vendange sur les principales caractéristiques polyphénoliques et colorimétriques des vins fin FML Comparaison des champs électriques pulsés, de la thermovinification et du témoin.

Cépage	vinification	modalité	IPT	Anthocyanes Abs [mg/l]	Abs 420 nm	Abs 520 nm	Abs 620 nm	IC'	Nuance
Syrah	Phase liquide	Blanc-CEP	38.42	506	2.55	4.67	0.94	8.16	0.78
		CEP	43.07	603	3.28	6.02	1.26	10.56	0.73
		Thermo	61.74	719	4.61	9.41	2.08	16.11	0.58
Fer-Ser-vadou	Phase liquide	Blanc-CEP	31.35	490	2.14	4.62	0.69	7.45	0.67
		CEP	36.90	637	2.54	5.59	0.91	9.03	0.65
		Thermo	54.27	741	4.12	8.87	1.60	14.59	0.64
Malbec	Phase liquide	Blanc-CEP	28.41	250	2.52	3.39	1.09	7.00	0.90
		CEP	30.46	264	4.66	8.22	2.10	14.98	0.91
		Thermo	53.04	568	3.04	4.06	1.41	8.51	0.73
	Vinification traditionnelle	Témoin 3 Jours	42.78	554	2.97	6.43	1.10	10.50	0.60
		CEP 3 Jours	49.03	619	3.46	7.47	1.35	12.28	0.58
		Témoin 14 Jours	45.66	445	3.63	6.01	1.53	11.17	0.79
		CEP 14 Jours	48.85	508	3.82	6.87	1.52	12.20	0.74
Cabernet Sauvignon	Phase liquide	Blanc-CEP	32.57	395	2.47	4.26	0.77	7.50	0.76
		CEP	37.37	494	3.04	5.54	1.01	9.59	0.71
		Thermo	53.21	662	4.33	8.02	1.64	13.99	0.69
	Vinification traditionnelle	CEP 3 Jours	45.63	652	3.77	8.26	1.23	13.26	0.58
		Témoin 14 Jours	47.39	437	3.98	6.16	1.32	11.46	0.81
		CEP 14 Jours	59.48	609	5.20	9.19	1.83	16.21	0.63

**Tableau 5.** Caractérisation des vins de Merlot en composés aromatiques.

	Merlot			
	Vinif. Traditionnelle		Phase liquide	
	Témoin	CEP	Thermo	CEP
<b>Esters éthyliques en [µg/l]</b>				
2-phényléthanol	105016	98490	81652	89441
acétate d'hexyle	nd	nd	57	51
acétate d'isoamyle	768	639	1905	1013
acétate de 2-phényléthyle	101	81	343	175
décanoate d'éthyle	87	80	248	316
hexanoate d'éthyle	314	241	685	625
octanoate d'éthyle	333	262	845	791
butanoate d'éthyle	299	240	614	433
2-hydroxypropanoate d'éthyle	81973	82646	82188	86091
3-hydroxybutanoate d'éthyle	560	524	560	412
2-méthylbutanoate d'éthyle	35	32	21	24
2-méthylpropanoate d'éthyle	212	196	195	140
2-hydroxyisocaproate d'éthyle	133	125	74	68
<b>C13 - Norisoprénoides en [µg/l]</b>				
1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphthalène	0.05	0.05	0.07	0.05
a-ionone	nd	nd	nd	nd
b-damascénone	2.44	2.34	2.81	3.60
b-ionone	0.13	0.15	0.07	0.09
<b>Pyrazines en [µg/l]</b>				
2-isobutyl-3-méthoxypyrazine	nd	nd	nd	nd
<b>Terpénols en [µg/l]</b>				
Linalol	7.6	7.4	4.8	3.9
Nérol	nd	nd	nd	nd
Géranol	2.6	3.0	2.9	2.4
Citronellol	nd	nd	nd	nd
alpha terpineol	4.9	5.4	3.4	2.4
Rose Oxyde	0.0	0.0	0.0	0.0

**Tableau 6.** Caractérisation des vins de Malbec en composés aromatiques.

	Malbec			
	Vinif. Traditionnelle		Phase liquide	
	Témoin	CEP	Thermo	CEP
<b>Esters éthyliques en [µg/l]</b>				
2-phényléthanol	119293	106296	47829	49595
acétate d'hexyle	33	48	137	189
acétate d'isoamyle	1201	1089	1382	1583
acétate de 2-phényléthyle	206	171	265	328
décanoate d'éthyle	64	63	429	465
hexanoate d'éthyle	251	260	812	756
octanoate d'éthyle	173	185	1060	1082
butanoate d'éthyle	178	206	393	389
2-hydroxypropanoate d'éthyle	98999	99479	58004	53931
3-hydroxybutanoate d'éthyle	373	405	383	457
2-méthylbutanoate d'éthyle	21	20	13	8
2-méthylpropanoate d'éthyle	128	146	161	78
2-hydroxyisocaproate d'éthyle	100	103	36	25
<b>C13 - Norisoprénoides en [µg/l]</b>				
1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphthalène	0.05	0.05	0.05	0.08
a-ionone	nd	nd	nd	nd
b-damascénone	3.23	2.94	3.58	6.04
b-ionone	0.16	0.19	0.05	0.07
<b>Pyrazines en [µg/l]</b>				
2-isobutyl-3-méthoxypyrazine	nd	nd	nd	nd
<b>Terpénols en [µg/l]</b>				
Linalol	11.7	11.3	8.3	7.5
Nérol	nd	nd	1.7	1.3
Géranol	7.4	6.7	9.8	16.1
Citronellol	9.4	9.4	nd	nd
alpha terpineol	8.0	7.9	5.6	4.3
Rose Oxyde	0.0	0.0	0.0	0.1

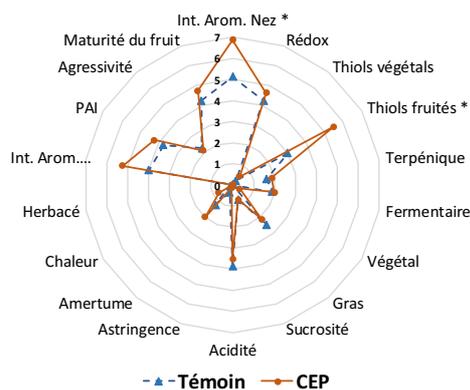
### 3.5. Résultats obtenus sur Sauvignon-Blanc

Sur vin fini, l'analyse des thiols (cf. Tableau 9) montre une augmentation de +126 % pour le lot traité aux CEP,

résultat confirmé par l'analyse organo-leptique, avec une « intensité aromatique » et une note de « thiols fruités » significativement plus élevées sur la modalité traitée aux CEP. Ce gain aromatique s'accompagne cependant d'une

**Tableau 7.** Caractérisation des vins de Syrah en composés aromatiques.

	Syrah			
	Vinif. Traditionnelle		Phase liquide	
	Témoin	CEP	Thermo	CEP
<b>Esters éthyliques en [µg/l]</b>				
2-phényléthanol	38579	38583	23737	25437
acétate d'hexyle	nd	27	90	154
acétate d'isoamyle	800	616	1582	2024
acétate de 2-phényléthyle	61	50	168	223
décanoate déthyle	71	59	427	452
hexanoate déthyle	179	171	677	733
octanoate d'éthyle	171	145	976	1122
butanoate d'éthyle	193	163	477	602
2-hydroxypropanoate d'éthyle	85943	87554	57019	51468
3-hydroxybutanoate d'éthyle	365	375	254	174
2-méthylbutanoate d'éthyle	17	20	7	6
2-méthylpropanoate d'éthyle	138	174	90	69
2-hydroxyisocaproate d'éthyle	102	98	35	25
<b>C13 - Norisoprénoides en [µg/l]</b>				
1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène	0.06	0.08	0.06	0.08
a-ionone	nd	nd	nd	nd
b-damascénone	3.46	3.33	2.88	5.96
b-ionone	0.16	0.24	0.03	0.03
<b>Pyrazines en [µg/l]</b>				
2-isobutyl-3-méthoxy-pyrazine	nd	nd	nd	nd
<b>Terpénols en [µg/l]</b>				
Linalol	10.2	9.6	8.6	9.6
Nérol	2.0	1.3	1.2	1.6
Géranol	6.0	4.5	10.0	16.5
Citronellol	8.6	6.3	nd	nd
alpha terpineol	3.9	3.9	2.8	2.8
Rose Oxyde	0.0	0.0	0.0	0.1

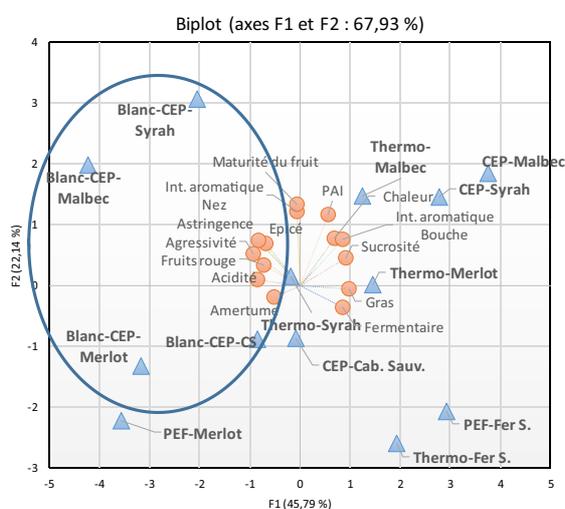


**Figure 7.** Influence du traitement de la vendange de Sauvignon par des CEP sur la composante aromatique de type « thiol » des vins.

inférieurs à la thermovinification. Le gain d'extraction en tanins (IPT) est plus limité (7 à 17 %) mais aussi plus faible que la thermo-vinification, bien que dans les deux cas la phase de macération a lieu en milieu « non alcoolique ». Outre l'extraction des polyphénols, la technologie des CEP par l'électroporation qu'elle entraîne, semble permettre l'extraction d'autres constituants de la pellicule, comme l'azote assimilable, les précurseurs aromatiques, ...

Vinifiée en phase solide, la vendange traitée des CEP permet d'obtenir après 3 jours de macération, sur vin fin FML, une intensité colorante comparable à la thermovinification, avec une extraction de tanins fortement améliorée par rapport à une vinification phase liquide.

L'application de CEP sur de la vendange fraîche se traduit par une petite augmentation du pH liée à une



**Figure 6.** Analyse en Composante Principale (ACP) sur les principales caractéristiques organoleptiques des vins rouge vinifiés en phase liquide.

forte augmentation de l'extraction des polyphénols de 30 %, qui entraîne une plus grande amertume. Des études complémentaires sont en cours pour limiter l'effet de l'augmentation des polyphénols.

#### 4. Conclusions

Cette nouvelle méthode d'extraction des constituants de la pellicule en conditions semi-industrielles (2 t/h) est intéressante à plusieurs titres. En vinification phase liquide, les niveaux d'intensité colorante obtenus sont 20 à 30 % plus élevés que les « Blanc-CEP », mais restent

**Tableau 8.** Caractérisation des vins de Fer-Servadou en composés aromatiques.

	Fer-Servadou			
	Vinif. Traditionnelle		Phase liquide	
	Témoin	CEP	Thermo	CEP
<b>Esters éthyliques en [µg/l]</b>				
2-phényléthanol	59311	44020	17437	14814
acétate d'hexyle	23	22	30	55
acétate d'isoamyle	788	704	1769	2857
acétate de 2-phényléthyle	66	51	157	128
décanoate déthyle	55	60	462	461
hexanoate déthyle	225	247	634	547
octanoate d'éthyle	187	197	972	865
butanoate d'éthyle	263	238	583	492
2-hydroxypropanoate d'éthyle	68289	47922	107970	48037
3-hydroxybutanoate d'éthyle	408	248	417	307
2-méthylbutanoate d'éthyle	7	7	6	4
2-méthylpropanoate d'éthyle	44	50	91	52
2-hydroxyisocaproate d'éthyle	25	24	59	33
<b>C13 - Norisoprénoides en [µg/l]</b>				
1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène	0.03	0.03	0.03	0.03
a-ionone	nd	nd	nd	nd
b-damascénone	2.25	1.75	2.11	2.46
b-ionone	0.13	0.25	0.03	0.06
<b>Pyrazines en [µg/l]</b>				
2-isobutyl-3-méthoxy-pyrazine	0.005	0.005	nd	nd
<b>Terpénols en [µg/l]</b>				
Linalol	4.5	4.4	4.4	3.6
Nérol	1.7	2.5	1.6	2.0
Géranol	10.0	10.7	12.4	12.4
Citronellol	3.5	5.5	nd	nd
alpha terpineol	3.9	6.2	5.7	10.5
Rose Oxyde	0.0	0.0	0.0	0.0

**Tableau 9.** Caractérisation des vins de Cabernet Sauvignon et Sauvignon en composés aromatiques.

	Cab. Sauvignon		Sauvignon	
	Phase liquide		Témoin	CEP
<b>Esters éthyliques en [µg/l]</b>	<b>Témoin</b>	<b>CEP</b>	<b>Témoin</b>	<b>CEP</b>
2-phényléthanol	84264	77729	26601	30745
acétate d'hexyle	39	92	236	291
acétate d'isoamyle	1207	1867	2198	3532
acétate de 2-phényléthyle	228	474	155	292
décanoate déthyle	226	343	359	375
hexanoate déthyle	521	734	939	1053
octanoate d'éthyle	614	1070	1169	1376
butanoate d'éthyle	418	503	509	544
2-hydroxypropanoate d'éthyle	97194	83550	9028	6613
3-hydroxybutanoate d'éthyle	291	238	299	290
2-méthylbutanoate d'éthyle	13	8	10	7
2-méthylpropanoate d'éthyle	140	130	88	63
2-hydroxyisocaproate d'éthyle	94	57	22	18
<b>C13 - Norisoprénoides en [µg/l]</b>				
1,1,6-triméthyl-1,2-dihydronaphtalène	0.09	0.05	0.09	0.08
a-ionone	nd	nd	nd	nd
b-damascénone	6.12	6.37	6.52	8.64
b-ionone	0.05	0.04	0.15	0.14
<b>Pyrazines en [µg/l]</b>				
2-isobutyl-3-méthoxy-pyrazine	nd	nd	nd	nd
<b>Terpénols en [µg/l]</b>				
Linalol	4.5	4.4	4.7	6.1
Nérol	nd	nd	0.5	0.9
Géraniol	1.9	3.2	2.4	4.4
Citronellol	nd	nd	4.2	7.6
alpha terpineol	2.1	1.9	2.1	2.4
Rose Oxyde	0.0	0.0	0.1	0.1
<b>Thiols en [ng/l]</b>				
3-mercaptohexan-1-ol			159	362
acétate de 3-mercaptohexyle			8	16

libération accrue du potassium lors de l'électro-poration. Dans de nombreux cas, on observe également une petite augmentation de l'extraction en acide tartrique et malique ainsi que de l'azote assimilable. Dans tous les cas, ces extractions sont inférieures à celles obtenues par la thermovinification.

Le traitement de la vendange par des CEP a tendance à augmenter la teneur des vins en β-damascénone et β-ionone par rapport au « témoin-CEP » et à une thermovinification. Cette augmentation semble plus importante dans les vinifications réalisées en phase liquide. Au niveau aromatique, le traitement de la vendange par des CEP n'entraîne aucune augmentation de la teneur des vins en IBMP.

Vinifiés en phase liquide, les vins traités ont un profil aromatique différent de la thermovinification. Par rapport au « Blanc-CEP », le traitement CEP a tendance à augmenter l'intensité aromatique en bouche et renforcer les notes fermentaires. Ces vins sont jugés moins acides avec parfois plus de gras et plus de sucrosité, ce qui atténue l'agressivité globale du vin.

L'essai préliminaire de traitement d'une vendange blanche de Sauvignon par les CEP montre un gain significatif de la teneur en thiols des vins obtenus, qui est corrélé avec les résultats de l'analyse organoleptique. Cependant, la plus forte extraction conduit aussi à plus de polyphénols renforçant l'amertume et la dureté du vin. Des études sont actuellement en cours afin de limiter ces extractions de polyphénols.

**Tableau 10.** Comparaison des niveaux d'énergie mis en œuvre pour le traitement d'une tonne de vendange par des CEP et par la Thermovinification.

	CEP	Thermo Traitement
<b>Chauffage</b>	22 kWh/t	70 kWh/T
<b>Refroidissement</b>	5 kWh/t	20 kWh/T

Au niveau de la consommation énergétique globale, la mise en œuvre des CEP est plus de 3 fois plus faible que la thermovinification classique.

## Références

- [1] E. Puértolas, N. López, G. Saldaña, L. Álvarez, J. Raso, *J. Food Eng.* **98**, 120 (2010)
- [2] C. Delsart, *Thèse de doctorat* (ISVV Bordeaux, 2012)
- [3] E. Puertolas, G. Saldana, S. Condon, L. Alvarez, J. Raso, *J. Food Sci.* **74**, 647 (2009)
- [4] H.N. Rajha, *Thèse de doctorat* Université Technologique de Compiègne, Université Sainte Joseph de Beyrouth (2015)
- [5] T. Garde-Cerdán, A.R. Marsellés-Fontanet, M. Arias-Gil, C. Ancín-Azpilicueta, O. Martín-Belloso, *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* **9**, 469 (2008)
- [6] A.R. Marsellés-Fontanet, A. Puig, P. Olmos, S. Mínguez-Sanz, O. Martín-Belloso, *Int. J. Food Microbiol.* **130**, 159 (2009)
- [7] J. Mattar, M.F. Turk, A. Maurice Nonus, N. I. Lebovka, E.V. Henri El Zakhemb, *Bioelectrochemistry* **103**, 92 (2014)
- [8] N. López, E. Puértolas, S. Condón, I. Álvarez, J. Raso *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* **9**, 477 (2008)
- [9] N.E. Darra, M.A. Ducasse, M.F. Turk, N. Grimi, R. Maroun, N. Louka, R. Guérin-Schneider, E. Vorobiev, *Macrowine*, Bordeaux (2012)
- [10] J. Raso-Pueyo, V. Heinz *Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry. Fundamentals and Applications* (Springer, 2006)
- [11] R.I. Putri†, I.N. Syamsiana, L.C. Hawa, *Int. J. Comp. Elec. Eng.* **2**, 923 (2010)
- [12] Q. Zhang, G.V. Barbosa-Cánovas, B.G. Swanson, *J. Food Eng.* **25**, 261 (1995)
- [13] L. Zheng-Ying, W. Yan, *Symp. High Voltage Eng.* (Yokohoma, Japan, Aug, 1993), pp. 23–27
- [14] S.R. Sarathy, C. Sheculski, J. Robinson, J. Walton, A. Soleymani, M.A. Kempkes, M.P.J. Gaudreau, D. Santoro, *1st World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine and Food & Environmental Technologies, IFMBE Proceedings* (2016)
- [15] U. Zimmermann, G. Pilwat, F. Riemann, *Biophys. J.* **14**, 881 (1974)
- [16] U. Zimmermann, G. Pilwat, F. Beckers, F. Riemann, *Bioelectrochem. Bioenerg.* **3**, 58 (1976)
- [17] U. Zimmermann, *Rev. Phys. Biochem. Pharmacol.* **105**, 176 (1986)
- [18] C. Cholet, C. Delsart, M. Petrel, E. Gontier, N. Grimi, A. L'Hyvernay, R. Ghidossi, E. Vorobiev, M. Mietton-Peuchot, L. Geny, *J. Agric. Food Chem.* **62**, 2925 (2014)
- [19] J.L. Escudier, M. Mikolajczak, M. Bes, *Rev. Fran. Éno.* **229**, Avril-Mai (2008)