

LES NOUVELLES TECHNIQUES DE TRAITEMENT PHYSIQUE DES VINS : L'ELECTRODIALYSE

Jean-Louis ESCUDIER

INRA, UE Œnologie, IPV-ISSV Pech Rouge, 11430 Gruissan

2.2. L'Electrodialyse

Eviter les dépôts de tartre dans les bouteilles de vins, dépôts peu appréciés par le consommateur, c'est le résultat du procédé de stabilisation tartrique utilisant l'électrodialyse.

L'électrodialyse est une technique soustractive bien connue et développée en agro-alimentaire. Elle consiste à extraire certains ions du vin, notamment les ions potassium, calcium et l'acide tartrique contribuant à la réduction du niveau de la sursaturation des sels de l'acide tartrique.

2.2.1. Principe et définition de l'électrodialyse

Le principe du fonctionnement de l'électrodialyse repose sur la propriété qu'ont des membranes de ne transférer exclusivement que des cations ou que des anions.

- **Les membranes**

Ce sont des films denses, non poreux de 100 à 200 microns d'épaisseur et de plusieurs décimètres carrés de surface constitués d'une matrice de polymères organiques sur laquelle sont greffés de façon covalente des groupes fonctionnels ionisés. Selon la nature de ces derniers, on distingue :

⇒ les membranes perméables aux cations dénommées membranes cationiques ou membranes à exclusion des anions,

⇒ les membranes perméables aux anions appelées membranes anioniques ou membranes à exclusion des cations.

Les groupements fonctionnels sulfoniques pour les membranes cationiques et les groupements ammonium quaternaires pour les membranes anioniques sont les plus couramment utilisés par les fabricants.

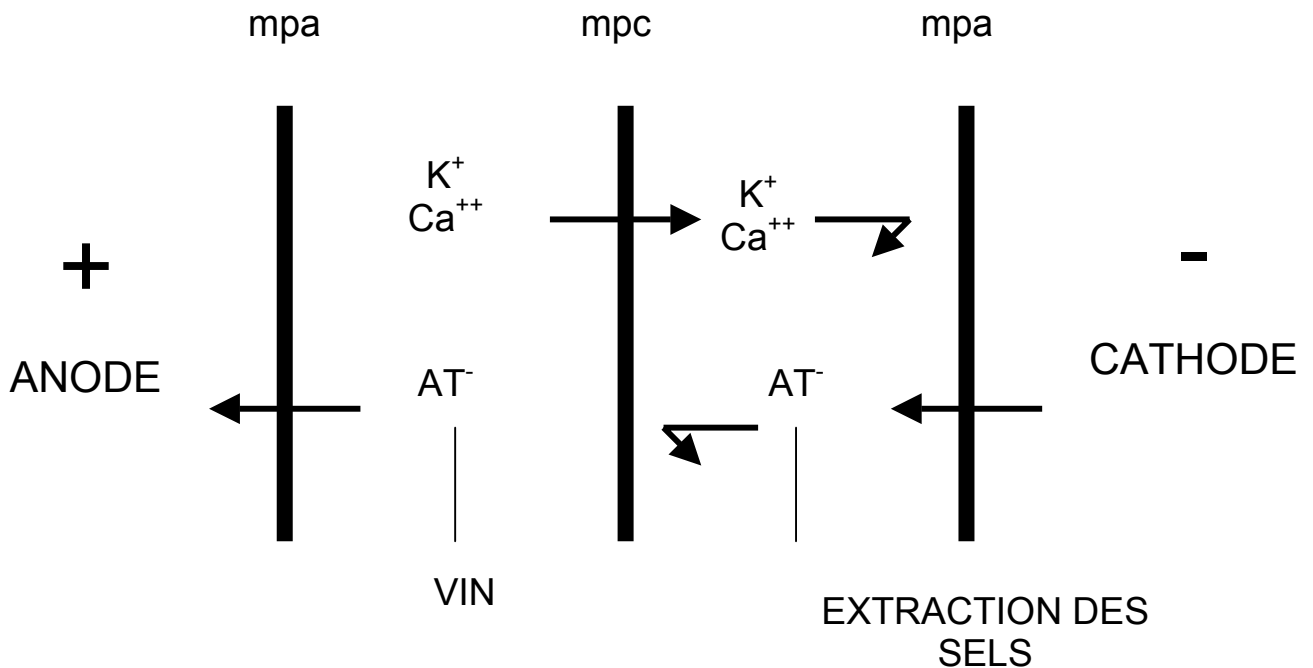
Sous l'influence d'un champ électrique, les ions peuvent se déplacer dans les membranes de sites en sites constitués par le réseau de groupements fonctionnels chargés soit négativement soit positivement, on parle d'itinéraires de conduction (Gavach, 1992). Les membranes cationiques ne laissent passer que les cations tandis que les membranes anioniques ne sont traversées que par les anions.

- **Le principe de fonctionnement**

Le schéma 4 illustre le principe de fonctionnement d'une cellule d'électrodialyse. Un motif élémentaire d'électrodialyse est constitué de deux compartiments "1" et "2" qui sont délimités alternativement par des membranes anioniques et cationiques.

Une différence de potentiel appliquée aux bornes d'électrodes placées de part et d'autre de la cellule va entraîner la migration des ions. Selon la convention, les cations vont se diriger vers l'électrode négative (la cathode) tandis que les anions se déplacent vers l'électrode positive (l'anode). Les cations du compartiment "1" vont pouvoir traverser la membrane cationique et de ce fait être éliminés de ce compartiment, mais ils ne peuvent sortir du compartiment "2" car ils trouvent sur leur chemin une membrane anionique. Les anions peuvent être exportés du compartiment "1" vers la cellule voisine, mais demeureront dans la partie "2" du module élémentaire car ils ne pourront franchir la membrane cationique.

Schéma 4 : technique d'électrodialyse, extraction des ions (K^+ , Ca^{++} , acide tartrique) par membranes



Du fait de l'alternance "anionique" et "cationique" des membranes, l'un des compartiments exporte ses ions vers les circuits voisins et voit alors sa teneur diminuer c'est pourquoi ce compartiment est appelé "diluat". Le compartiment qui s'enrichit en ions, est dénommé "concentrat".

La méthode ne fait pas appel aux réactions au niveau des électrodes.

- **Description générale d'un électrodialyseur**

Un électrodialyseur est constitué par un empilement de motifs ou cellules élémentaires décrites ci-dessus. Entre chaque membrane, un cadre séparateur permet le maintien entre les membranes d'une distance uniforme, l'écoulement des fluides ainsi que la rigidité et l'étanchéité de l'empilement.

Le nombre de cellules élémentaires peut aller jusqu'à 800 paires de membranes. Elles sont assemblées par une technologie proche de celle des filtres pressés. L'épaisseur des compartiments varie de 0,3 à 2 mm selon les concepteurs des appareillages.

Deux circuits hydrauliques alimentent en parallèle, respectivement l'ensemble des compartiments du même type ; une voie rassemble tous les compartiments "diluats" de chaque motif élémentaire, de même que les compartiments "concentrats" sont en connexion.

Les modules d'électrodialyse sont équipés de deux électrodes (une anode et une cathode) placées en général à chacune des extrémités de l'empilement. Celles-ci sont protégées par un circuit séparé, balayé par une électrolyte, celui-ci est totalement isolé du circuit produit.

Les électrodes fournissent le courant d'alimentation de l'électrodialyseur, elles débitent un courant électrique continu qui est transformé en courant d'ions, dû aux transferts des ions dans la solution et dans les membranes. Les performances de l'électrodialyse sont en relation directe avec la quantité d'électricité passée dans l'appareil. La différence de potentiel électrique, en général de l'ordre du volt par cellule, maintenu de part et d'autre de chaque membrane permet le passage sélectif des ions. Les phénomènes sont régis par les lois d'Ohm et de Faraday.

2.2.2. Adaptation au traitement des vins

L'implantation industrielle de l'électrodialyse remonte aux années 50, cette technique séparative à membranes a été primitivement développée pour le dessalement des eaux saumâtres et la production de saumure à partir d'eau de mer, notamment au Japon. Plus récemment, l'électrodialyse a trouvé des applications dans les industries alimentaires et pharmaceutiques, grâce à l'apparition de nouvelles membranes, et s'est répandue en laiterie pour la déminéralisation du lactosérum utilisé en alimentation animale et pour l'élaboration de laits maternisés, cette application représente à l'heure actuelle une capacité mondiale de traitement de 60 000 m² de membranes installées (Gavach, 1992). La dénitratisation des eaux potables est en cours d'agrément. C'est une technique propre qui ne génère que peu d'effluents polluants.

L'idée de stabiliser les vins vis-à-vis de précipitations tartriques par électrodialyse est ancienne (Okonov *et al.*, 1975 ; Wucherfennig et Millies, 1976 ; Paronetto et Braido, 1977), et la faisabilité a été démontrée. Toutefois à cette époque, ces travaux n'ont pas débouché sur des réalisations industrielles, les raisons conjoncturelles sont bien évidemment difficiles à analyser, cependant on peut raisonnablement penser que le manque de disponibilité de membranes performantes (fortes résistances surfaciques) ou mal adaptées aux vins ait pu représenter un premier facteur limitant ; d'autre part, le fait de traiter les vins de façon à éliminer une valeur fixe de potassium a, vraisemblablement, constitué un handicap pour l'industrialisation du procédé.

En dépit des progrès réalisés dans l'amélioration des matériels proposés dans le traitement des vins par réfrigération, joints au développement des méthodes de contrôles, la prévention des précipitations des cristaux en bouteille n'est pas, dans l'absolu, définitivement acquise. Beaucoup d'œnologues estiment, aussi, que les qualités organoleptiques des vins peuvent être affectées par le traitement de stabilisation au froid, notamment lorsqu'ils ont une forte structure polyphénolique.

Le marché international des vins de plus en plus concurrentiel, induit, de la part des centres d'achats des exigences de plus en plus drastiques quant au cahier des charges proposé ; il est demandé en particulier aux producteurs de fournir l'assurance de l'absence de précipitations tartriques durant la période de commercialisation.

Cette évolution a poussé au réexamen des potentialités que représente l'électrodialyse, afin d'apporter, en prenant en compte l'ensemble des considérations techniques, économiques, et réglementaires, une solution véritablement efficace au problème posé. Pour atteindre cet objectif, il est apparu nécessaire d'étudier le comportement de membranes d'électrodialyse vis-à-vis du vin (Cottureau, 1989) et de concevoir un test permettant d'adapter le niveau de traitement à l'instabilité de chaque vin ; cette option conduisant, ainsi, à l'automatisation du procédé.

● **Critères de choix des membranes**

En électrodialyse, en principe, tous les cations et les anions peuvent être affectés par le traitement. Cependant tous les ions n'ont pas le même comportement, leur extraction dépend de divers facteurs. Dans les limites d'une charge ionique suffisante, la cinétique de transfert d'ions suit une équation de premier ordre, telle que $C_i = C_1^{\circ} \exp(-\varpi t)$ où C_i = concentration en moles. l⁻¹ de l'ion considéré après une durée de traitement t , C_1° = concentration initiale, ϖ = constante de vitesse. Cette dernière valeur, pour des conditions définies de milieu, de température est caractéristique de chaque ion présente en solution (Audinos *et al.*, 1979). En pratique, elle dépend essentiellement de la mobilité des ions, de leur dimension ainsi que de la nature de la membrane. Ces considérations expliquent les différences d'extraction de chaque espèce ionique des vins traités par électrodialyse.

L'adaptation des membranes d'électrodialyse au traitement des vins a reposé sur la prise en compte, d'exigences réglementaires, des caractéristiques technologiques des membranes disponibles ou prototypes et enfin de critères œnologiques.

1. Les membranes que l'on souhaite utiliser en œnologie doivent être en conformité avec la réglementation relative aux additifs, aux matériaux en contact avec les aliments, et satisfaire aux tests de migration en solution hydroalcoolique à pH acide.
2. La sélection des membranes, en vue d'assurer l'efficacité de la stabilisation à un coût compétitif, a été basée sur l'évaluation :
 - des cinétiques de désionisation globale adaptés aux cations potassium et calcium et aux anions tartrates,
 - de la résistance mécanique des membranes.
 - et de leur tenue vis-à-vis des phénomènes d'encrassement (polarisation secondaire), de sorte qu'une durée de fonctionnement au moins égale à 2 000 heures puisse être garantie pour les membranes anioniques qui sont généralement les plus fragiles.
3. Afin de respecter l'intégrité qualitative des vins, le couple de membranes mis en œuvre ne doit pas affecter les constituants non ioniques des vins et n'entraîner que des modifications discrètes de l'équilibre physico-chimique du vin [tableau 10] ; dans la recherche du meilleur couple de membranes, les limites suivantes ont servi de critères de sélection :

- une diminution maximale de la teneur en éthanol fixée à 0,1 % (v/v),
- un abaissement du pH inférieur à 0,25 unités,
- décroissance de l'acidité volatile inférieure à $0,09 \text{ g.l}^{-1}$ (exprimée en acide sulfurique).

Ce cahier des charges ne se justifie que pour les vins les plus instables.

Des couples de membranes possédant les propriétés requises et les aptitudes œnologiques, ont été assemblées sur une unité pilote afin de valider le procédé en situation œnologique.

- **Tests de stabilité tartrique et contrôle-commande du procédé**

Principe du test

Le test est basé sur l'analyse de la variation de la conductivité, au cours du temps, d'un échantillon placé à température négative, etensemencé, en cristaux calibrés d'hydrogénéotartrate de potassium sous agitation constante. La modélisation du phénomène, suivie pendant environ 4 heures, permet d'évaluer la chute de conductivité pour un temps théoriquement infini.

Différentes formules mathématiques peuvent être proposées en fonction du type de vin, de la température retenue pour réaliser le test, et de l'adjonction ou non d'éthanol pour accélérer la précipitation ainsi que le degré de filtration de l'échantillon. La réponse donnée par le test est donc une conductivité finale de stabilité. Le niveau d'abaissement de la conductivité que doit subir le vin afin qu'il soit stable, est acquis à l'aide d'un appareil automatisé piloté par micro-ordinateur.

Le schéma 5 donne à titre indicatif sur une gamme de vin l'intensité de traitement nécessaire exprimé en % de chute de conductivité, pour obtenir la stabilité tartrique du vin. Les données de ce tableau montrent clairement que la connaissance de la conductivité initiale du vin (ou de sa teneur en potassium) n'est pas corrélée à l'intensité du traitement de stabilisation. Des vins à conductivité initiale forte ($2\ 320 \mu\text{s}$) n'ont besoin que de traitements faibles (- 7 %). D'autres vins à conductivité initiale faible ($1\ 590 \mu\text{s}$) nécessitent au contraire des intensités de traitements fortes (- 24 %).

Seule la procédure du test lié à un système de contrôle commande permet au procédé d'être opérationnel.

Le système contrôle-commande [schéma 6]

L'appareil de test est relié à l'installation d'électrodialyse. Il fonctionne soit en mode mesure, soit en mode procédé. Le mode mesure permet à l'œnologue de caractériser l'instabilité tartrique d'un échantillon de vin, introduit manuellement. Le mode procédé permet la même caractérisation sur le vin prélevé automatiquement à l'entrée de l'installation d'électrodialyse (l'introduction manuelle est alors impossible), et l'identification du vin par sa conductivité et son pH au temps zéro du test. L'opération n'est autorisée que si le vin est déterminé instable. La conductivité finale de la stabilité donnée par le test représente alors la valeur de consigne de fonctionnement pour l'électrodialyseur.

2.2.3. Description du fonctionnement du procédé

Une unité de stabilisation tartrique des vins par électrodialyse est composée d'un empilement d'électrodialyse sous inertage classique à deux compartiments, de pompes d'alimentation, et de deux cuves permettant le retour des fluides (vin et concentrat) sur leurs compartiments respectifs. La cuve de retour du vin (batch) est équipée de sondes de niveaux et les deux circuits comportent chacun un conductimètre. Un automate gère, à l'aide de sondes de conductivité, les séquences de circulation du vin, et le niveau de concentration du rejet.

Le vin est admis par pompage dans la cuve de traitement à partir de laquelle il circule en boucle sur l'empilement d'électrodialyse sous inertage. Lorsque la conductivité mesurée atteint la valeur de consigne déterminée par le test de niveau d'instabilité, le volume de vin stabilisé est dirigé vers la cuve de réception par un jeu d'électrovannes. Un autre volume de vin à traiter est alors introduit pour être stabilisé dans les mêmes conditions. Ceci correspond à un fonctionnement en batch court discontinu, le traitement étant effectué en quelques minutes sur un volume réduit de vin. Le temps de traitement, et donc, les performances de l'appareillage sont directement liées au degré d'instabilité potentiel du vin. Globalement le procédé est continu et ne nécessite pas l'immobilisation de volume de vin particulier. [schéma 6].

La concentration en ions du circuit concentrat, correspondant à la récupération en espèces ioniques extraites du vin, est régulée par dilution au moyen d'une valeur seuil de conductivité afin d'éviter que des cristaux d'hydrogénotartrate de potassium ne précipitent dans les compartiments à l'intérieur de l'empilement de membranes.

2.2.4. Validation du procédé

L'appareil pilote qui a été constitué pour la réalisation des essais sur site industriel, comprend 40 cellules élémentaires développant 3m² de cellule active, soit 3m² de membranes cationiques et 3m² de membranes anioniques. Le vin circule dans le module en écoulement en nappe ultra mince à la vitesse de 7 cm.s⁻¹. Le traitement s'effectue à basse pression, inférieure à 1 bar, et à la température ambiante, (10 à 25°C). Le vin est maintenu à l'abri de l'air et ne subit pas de brassage excessif, compte tenu de la faible vitesse de passage.

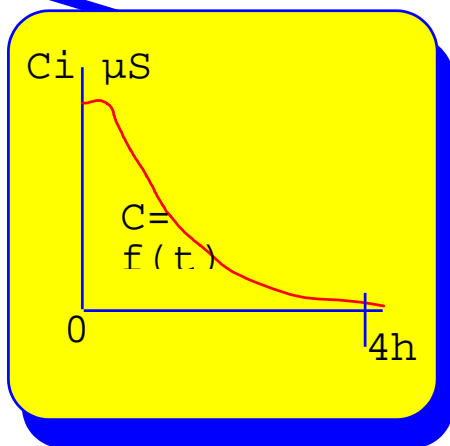
Il a été, ainsi, traité plus de 20 000 hl de vins blancs, rosés, et rouges de différentes régions viticoles françaises, italiennes, espagnoles, portugaises et allemandes ; le volume des cuvées stabilisées par électrodialyse a varié de 25 à 400 hl. Les débits obtenus sont compris entre 50 et 150 l/h/m² de cellules ; ils sont, essentiellement, fonction de la quantité d'ions à extraire pour assurer la stabilité. A niveau de traitement identique, les performances sont, toutefois, meilleures avec les vins blancs qu'avec les vins rouges ; ces derniers ont plus tendance à provoquer dans le temps une augmentation de la résistance surfacique des membranes qui, conformément à la loi d'Ohm, concourt à la réduction des vitesses de transfert des ions au travers des membranes, les anioniques étant plus sensibles à ce phénomène, un rinçage et un nettoyage en place périodique de l'empilement en réduit les effets.

Les différentes analyses effectuées sur des vins traités par électrodialyse, ont montré que les cations minéraux sont extraits efficacement. Le calcium est l'ion qui est éliminé le plus rapidement (schéma 7) La réduction de la teneur en potassium est quasiment linéairement corrélée à la diminution de la conductivité. D'autres cations tels que le fer, le cuivre, le plomb voient leurs teneurs

légèrement baisser. Cette décroissance est dépendante de l'intensité du traitement. Les anions sont également extraits mais avec des cinétiques plus faibles que dans le cas du potassium (schéma 7). Pour une chute de conductivité de 20 % la réduction de la concentration en acide tartrique est située dans une fourchette de 10 à 15 %. Les teneurs en SO_2 libre et total ont tendance à très légèrement diminuer, de même que l'acidité volatile. A titre d'exemple un bilan analytique comparatif d'un vin blanc et d'un vin rouge stabilisés au niveau tartrique par électrodialyse est donné dans les tableaux 10 et 11.

L'extraction des anions étant moins rapide que celles des cations, on observe un léger abaissement du pH qui est limitée pour les vins traités à 0,15 unités (voir tableau 11).

Schéma 5: MISE en OEUVRE du TEST de Stabilité Tartrique
 Température du TEST et Table de décision



Cinétique Conductivité sur 4 heures

MODELISATION

Traitement des données

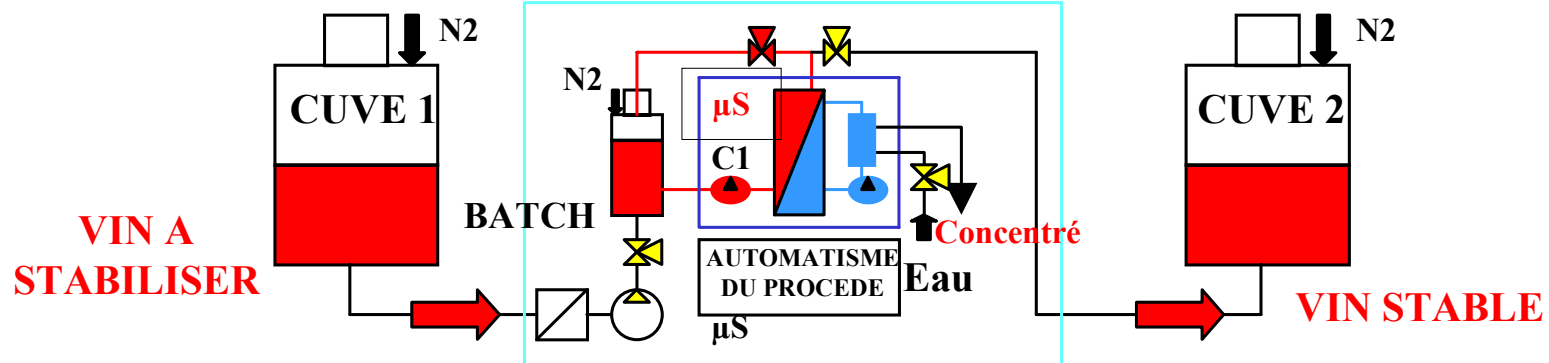
MODELISATION
 Calcul de C_f pour temps infini

AIDE à la DECISION

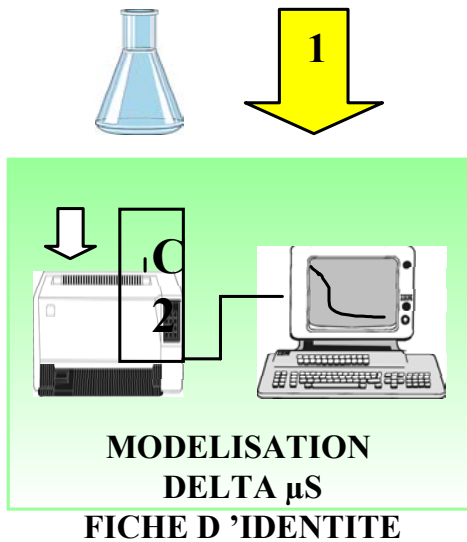
Stabilité et Taux de Traitement ED

type de produit	température du test	Taux de chute modélisé	stabulation au froid de référence
JUS de Raisin	-2°C	<3% stable	0°C 10jours
Vin tranquille vin liqueux	-4°C	<3% stable	-4°C 6jours
V.D.N et A.B.V	-9°C	<6% stable	-9°C 10jours

UNITE DE STABILISATION TARTRIQUE PAR ELECTRODIALYSE



ECHANTILLONNAGE



Console OPERATEUR

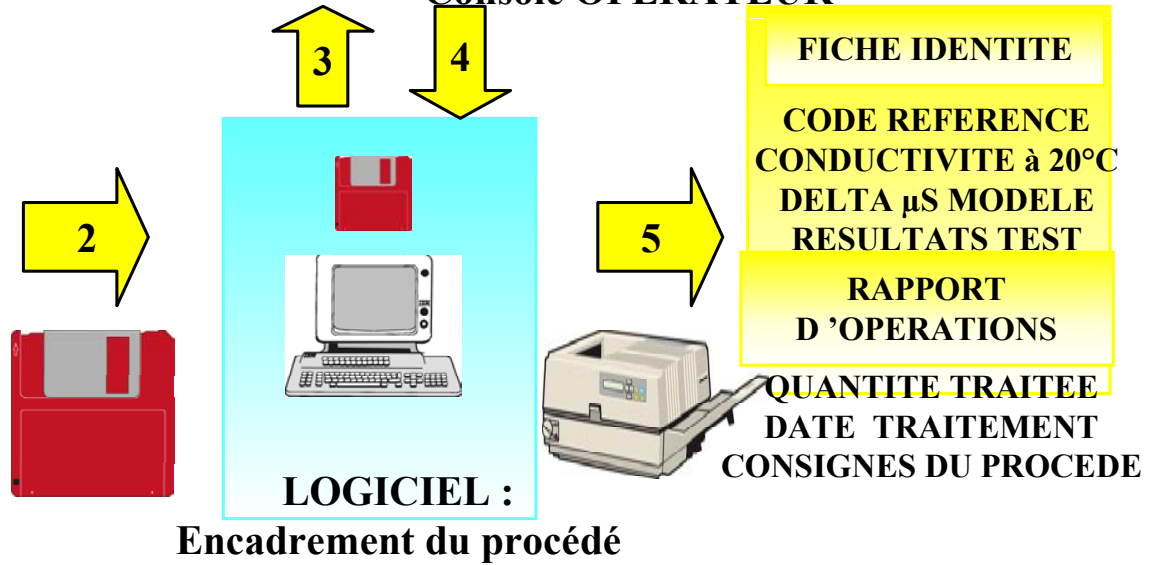


Schéma 6 : système contrôle-commande

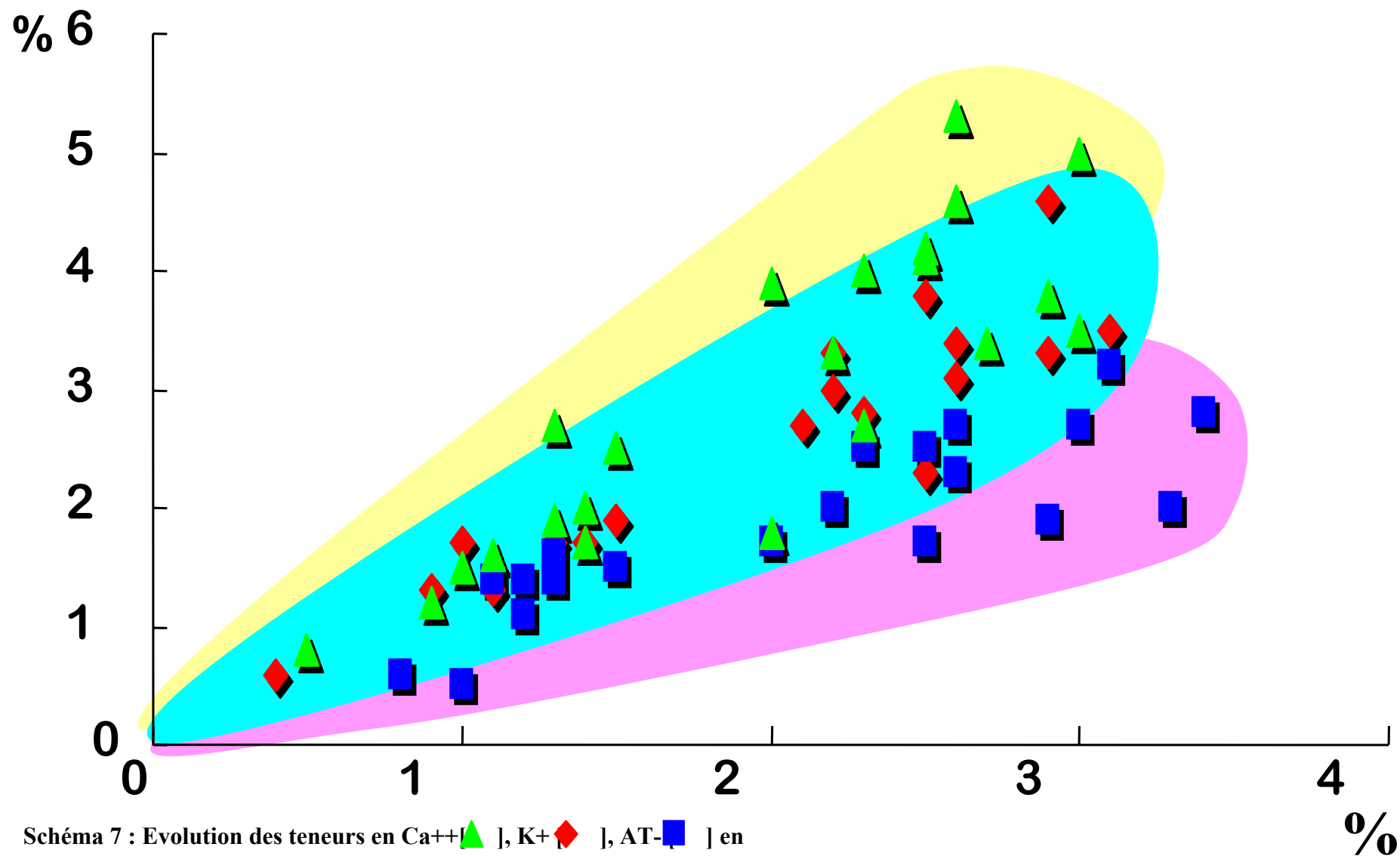


Schéma 7 : Evolution des teneurs en Ca⁺⁺ [▲], K⁺ [◆], AT⁻ [■] en fonction du taux de diminution de conductivité

Tableau 10 : Evolution moyenne de la composition physico-chimique des vins

	% Chute de conductivité			Législation
	< 10 %	10 à 20 %	20 % à 30 %	
Alcool % vol.	- 0,04	- 0,06	- 0,08	< 010
Ac. Volatile g/l H ₂ SO ₄	- 0,03	- 0,05	- 0,08	< 0,09
pH	- 0,05	- 0,10	- 018	< 0,25
Potassium g/l		- 0,20 à – 0,40		
Calcium mg/l		- 5 à – 15		
Acide Tartrique g/l		- 0,20 à – 0,50		
Polyphénols	0	0	0	0
Métaux mg/l		- 1		
SO ₂ Total mg/l		- 15		
SO ₂ Libre mg/l		- 5		
CO ₂ mg/l		- 50		

Tableau 11 : Evolution de la composition analytique d'un vin rouge moyennement instable, stabilisé au niveau tartrique par électrodialyse sur l'unité industrielle des Etablissements Jeanjean

	Vin rouge – cépage Merlot		
	Avant Electro dialyse	Après Electro dialyse	Chute %
Conductivité (en ms)	2 190	1 890	- 13,7 %
pH	3,41	3,33	
Ac. Totale g/l H ₂ SO ₄	3,53	3,51	
Ac. Volatile g/l H ₂ SO ₄	0,38	0,37	
K ⁺ g/l	1,10	0,92	- 16,4 %
Ca ⁺⁺ mg/l	68,7	55,0	- 19,9 %
Acide Tartrique g/l	2,22	1,90	- 14,4 %
SO ₂ Libre	19	19	
SO ₂ Total	80	70	
Alcool % vol.	12,43	12,42	

En ce qui concerne les autres constituants du vin, les analyses détaillées ont mis en évidence que les polyphénols (anthocyanes et tannins), les polysaccharides, les acides aminés et les composés volatils, n'apparaissent pas affectés par le traitement. Dans des

essais comparatifs l'état de la matière colorante est plus largement modifié par le traitement par le froid que par électrodialyse. En effet, le froid provoque non seulement la précipitation de tartre, mais aussi, l'élimination de matières colorantes de nature colloïdale.

Dans les conditions d'utilisation décrites, tous les vins traités par le procédé d'électrodialyse se sont révélés stables alors que ce ne fut pas toujours le cas du traitement par le froid. Chaque essai a fait l'objet d'analyses sensorielles comparées par rapport à des échantillons de vins témoins, électrodialysés et traités par réfrigération dans les conditions utilisées habituellement dans le site d'expérimentation. Il n'a pas été mis en évidence de différences significatives entre le vin témoin et le vin traité par électrodialyse (Riponi *et al.*, 1992 ; Cottureau, 1993).

2.2.5 Intérêt technologique

- **Fiabilité et maîtrise du procédé**

La fiabilité du procédé de traitement des vins en prévention des précipitations tartriques, par électrodialyse, repose sur l'utilisation de membranes sélectionnées et sur la mise en œuvre d'un test de stabilité, intégré à un système de contrôle-commande. Celui-ci détermine pour chaque vin :

- ⇒ l'opportunité du traitement,
- ⇒ le niveau du traitement.

Il s'agit, d'un procédé qui s'adapte à l'équilibre physico-chimique de chaque vin, en n'éliminant que la quantité de potassium et d'acide tartrique nécessaire à l'obtention de la stabilité, déterminée par avance. Ainsi, l'intensité du traitement par électrodialyse est modulable en fonction de l'instabilité de chaque vin, et, est limitée au besoin de la prévention des risques d'apparition de cristaux des vins conditionnés.

De plus, le traitement, éliminant en outre une partie du calcium, les vins seront plus stables vis à vis des précipitations de tartrates de calcium. De la sorte le procédé de stabilisation au moyen de l'électrodialyse se révèle être un outil disponible s'intégrant dans la stratégie d'assurance qualités des entreprises vinicoles.

- **Positionnement dans la ligne de traitement des vins**

L'électrodialyseur admet un produit simplement débarrassé de ses particules microniques, correspondant aux éléments solides du trouble. En conséquence, le procédé utilisant l'électrodialyse supprime les étapes de filtrations, indissociables des traitements de réfrigération. La précipitation d'hydrogénotartrate de potassium par abaissement de la température du vin, est d'autant plus efficace que les vins sont mieux clarifiés ; la filtration poussée est une opération préalable à la mise à basse température. Ces opérations de clarifications successives sont souvent préjudiciables à la qualité des vins, elles tendent à un « amaigrissement » des vins et à une perte de la perception aromatique. La stabilisation tartrique par électrodialyse ne présente, donc, pas ces inconvénients.

En revanche, puisque l'électrodialyse préserve la structure colloïdale des vins, il convient de signaler que les vins ne sont pas protégés contre d'éventuels risques de précipitation de matière colorante ; diverses solutions technologiques existent pour traiter les vins

présentant potentiellement ce défaut. La technique d'électrodialyse est bien adaptée à un couplage avec la technique de microfiltration tangentielle. L'ensemble des aspects clarification, stabilité microbiologique, stabilité tartrique seront ainsi réalisés en continu.

Lorsqu'un traitement de collage doit être réalisé il sera effectué en amont en associant éventuellement la centrifugation pour éliminer les floculats issus de la réaction de collage. A titre d'exemple les nouveaux schémas de traitement court et qualitatif des vins pourraient être :

Collage → Soutirage ou Clarification centrifuge → Electrolyse → Microfiltration
tangentielle → embouteillage pauvre en germes

- **Avantages économiques**

Par rapport aux traitements classiques, l'option électrodialyse permet de réaliser des économies d'adjuvants de filtration, de tartres d'ensemencement, ou d'acide métatartrique selon les situations technologiques exploitées. Les rejets du traitement des vins seront, donc, également réduits. Ils sont limités aux nettoyages des membranes, une fois à deux par 24 heures (cycle acide, alcalin et salin) et à l'appoint d'eau de dilution du circuit concentrat de sels. Cet apport d'eau représente une consommation de 10 à 20 litres pour 100 litres de vin. Cette eau peut être directement recyclée en nettoyage de cave.

La DCO de ce rejet peut être située dans une fourchette de 2 à 3,5 g/l ce qui reste très faible. Cet effluent contient 1 à 1,5 g d'acide tartrique, 1 à 1,5 g de potassium, 0,5 g de sulfate, 0,1 g de calcium et 0,5 à 1 g d'alcool. Cela correspond à une charge polluante moyenne de 30 g de DCO pour 100 l de vin traité. Cette valeur représente seulement l'équivalent de 10 % de la charge polluante admise liée à l'élaboration de 100 l de vin.

Des traitements complémentaires de recyclage de ces rejets liquides pourront être proposés si cela était nécessaire sur certains sites, en particulier pour réduire la consommation d'eau.

Le coût énergétique de la stabilisation tartrique par électrodialyse est particulièrement faible, puisque la consommation électrique globale est comprise entre 0,5 et 1 KWh par m³ de vin traité y compris les énergies de pompage ; celle-ci est environ dix fois inférieure à celle requise pour la production de frigories nécessaires aux traitements classiques ; l'économie dépend du système de réfrigération comparé - continu ou en stabulation - ainsi que de l'isolation de la cuverie ou des modalités de la récupération d'énergie.

L'automatisation du procédé permet également de réduire de façon significative le poste main d'œuvre. Le tableau 12 donne à titre indicatif le coût d'investissement d'électrodialyse, ainsi que les coûts en consommables et fonctionnement. Ces chiffres ont été établis par la société Eurodia et la société Boccard qui commercialisent les empilements d'électrodialyse et les unités complètes de traitement des vins.

L'évaluation comparative prenant en compte, les charges fixes (amortissement du matériel sur cinq ans, les frais financiers) et les charges d'utilisation (consommation d'énergie, les consommables, le renouvellement des membranes, la main d'œuvre, et les coûts de maintenance) sont en faveur de l'électrodialyse. Les coûts à l'hectolitre traité peuvent être réduits de 50 à 70 %

selon la taille des installations, le degré d'automatisation du déclenchement des diverses tâches du dispositif (remplissage, vidange, rinçage, gestion des sécurités de fonctionnement) et la périodicité du renouvellement des membranes, comparativement à la stabulation à – 3°C pendant 10 jours.

Tableau 12 : Données économiques

UNITES INDUSTRIELLES			
Capacités	Coût investissement (MF)	Consommables	Coût global F/hl
12 hl/h / 25 hl/h	400 / 700 KF	0,6 F/hl	5 F/hl à 13 F/hl
45 hl/h	1 700 / 1 900 KF		
90 hl/h	2 400 / 2 500 KF		

Sources : Société EURODIA (91320 WISSOUS) et BOCCARD (69007 LYON)

- **Validation industrielle**

Une dizaine d'unités de capacité de traitement variant de 40 hl/h à 100 hl/h sont opérationnelles depuis 1997 en France chez différents négociants et producteurs y compris de zone A.O.C.

L'évolution sensorielle a permis de valider sur la durée et la multitude de produits traités la neutralité au niveau organoleptique du procédé : il est très difficile de distinguer le vin avant traitement du vin après traitement.

La mise en place d'unités mobiles (voir photo) rend le traitement accessible à la propriété.