

VINIFICACIÓN A ESCALA PILOTO (100 L). II : CARACTERIZACION - INTERES

E. AGUERA*, J.M. SABLAYROLLES**

* *Unité expérimentale INRA Pech Rouge*, ** *UMR 'Sciences pour l'œnologie', INRA Montpellier*

Introducción

La escala piloto (desde algunas decenas hasta centenares de litros) se utiliza a menudo en las experimentaciones enológicas pero paradójicamente está relativamente mal caracterizada. Tanto es así que existen pocos estudios sobre la hidrodinámica en el interior de los depósitos así como sobre la representatividad de los resultados obtenidos a esta escala.

Este artículo se propone analizar a que punto se encuentran los trabajos sobre este tema. Para ello nos hemos basado en los resultados obtenidos con depósitos de 100 litros equipados específicamente para estudiar por una parte las fermentaciones en fase líquida, por otra parte las vinificaciones en tinto.

Vinificaciones en fase líquida

Dispositivo experimental

El depósito utilizado para caracterizar las fermentaciones en fase líquida tiene un volumen útil de 100 litros. Comparado con los descritos previamente (Aguera y otros, 2005), está equipado específicamente con :

- Medidas de la temperatura en 3 niveles
 - o alto : a 5 cm del nivel de líquido
 - o medio : media altura del líquido
 - o bajo : a 5 cm del fondo del depósito
- Muestreos en 3 niveles (y dos posiciones)
 - o alto: a 5 cm del nivel de líquido (centro del depósito y borde). Puntos h1 y h2
 - o bajo : a 5 cm del fondo del depósito (centro del depósito y borde). Puntos b1 y b2
 - o fondo : en el fondo del depósito

Homogeneidad

El problema de la homogeneidad del medio durante la fermentación es, seguramente, un punto crucial sobre todo en el caso de la vinificación en tinto, pero es importante considerarlo también en la vinificación de los vinos blancos. De hecho, la producción de CO₂ tiene un mayor poder de agitación (descrito por Garcia y otros, 1993) pero su impacto efectivo no ha sido todavía descrito con precisión. Se ha demostrado que a escala industrial, el CO₂ producido es generalmente suficiente para que, en una fermentación en fase líquida, el depósito se pueda considerar perfectamente homogéneo durante prácticamente toda la fermentación (Malherbe, 2003).

Por el contrario, a escala de laboratorio, la agitación creada por el CO₂ es poco significativa, lo que explica porqué muchas fermentaciones se realizan con una agitación mecánica. En el caso de la escala piloto, este fenómeno está poco descrito.

N.B. En el caso de la vinificación en tinto, se añade la heterogeneidad debida a la presencia de partículas sólidas y la formación del sombrero.

- Población de levaduras

La población de levaduras es perfectamente idéntica en la parte alta y en la parte baja del depósito (figura 1). Es también independiente de que el muestreo se realice en el centro del depósito o en el borde (datos no mostrados). Esto es todavía más significativo si tenemos en cuenta que hemos considerado un ejemplo con retraso fermentativo que representa el caso más desfavorable junto con el riesgo de heterogeneidad. Hay que resaltar que al final de la fermentación, cuando la velocidad de producción de CO₂ es demasiado baja (inferior a

aproximadamente 0.15 g/l.h) la población disminuye, pero siempre de forma idéntica en los diversos puntos de muestreo. Se forma entonces, en la parte baja del depósito, un fondo constituido por las levaduras que han sedimentado (y por las partículas sólidas).

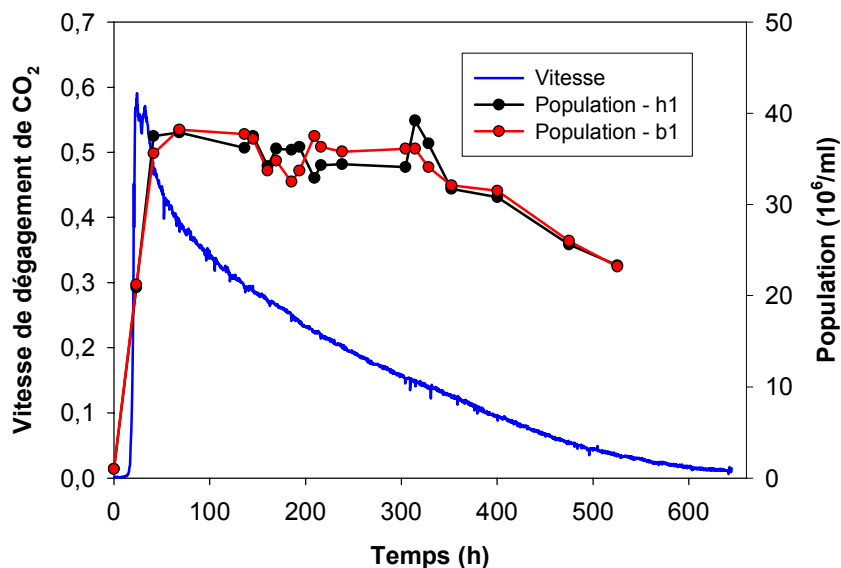
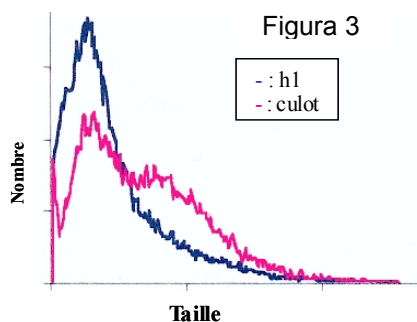
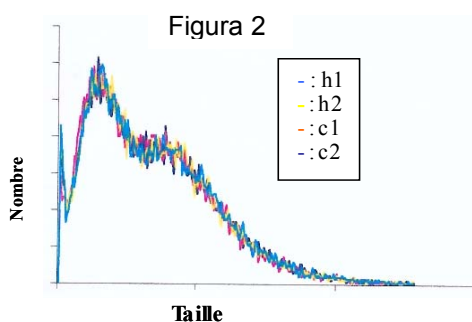


Figura 1
Evolución de la velocidad de producción de CO₂ y de la población celular en la parte alta y baja del depósito en el caso de un mosto con retraso fermentativo.



Figuras 2 y 3. Morfología de las levaduras : distribución por tamaños al final de la fermentación (t = 525 h)

Figura 2 : Comparación de los 4 puntos de muestreo

Figura 3 : Comparación con el fondo

Si comparamos la edad fisiológica de las levaduras de las muestras tomadas en los distintos puntos, organizando los histogramas de distribución por tamaños, se obtienen, también en este caso, unos resultados perfectamente sobreponibles para todos los puntos de muestreo (h1, h2, c1, c2) (: figura 2: ejemplo al final de la fermentación). Solamente la muestra tomada en el fondo es diferente (figura 3), con levaduras de tamaño más pequeño, lo que refleja un índice de mortalidad más alto.

La perfecta homogeneidad del estado fisiológico de la población de levaduras entre los cuatro puntos de muestreo está confirmada también por la figura 4 que representa la evolución de la vitalidad celular durante la fermentación..

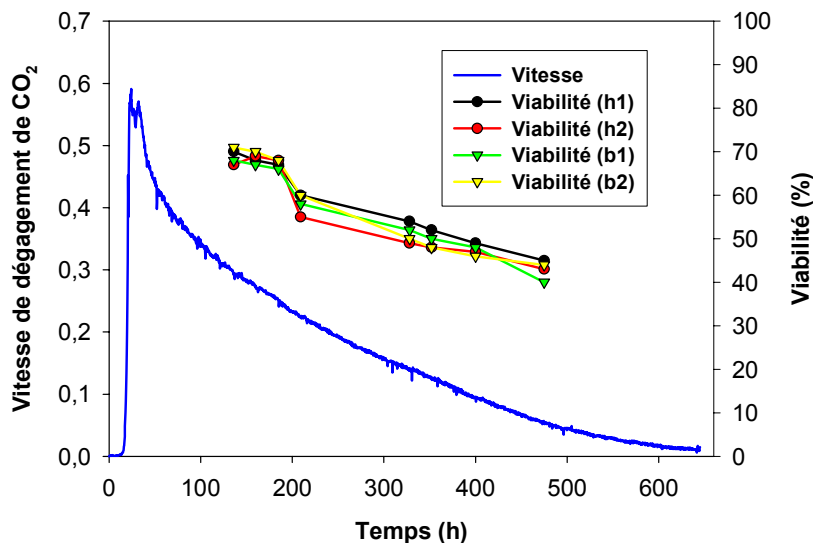


Figura 4 : Evolución de la velocidad de producción de CO₂ y de la vitalidad celular. Toma de muestras en diversos puntos:

- en alto: a 5 cm del nivel de líquido (centro del depósito y bordes). Puntos h1 y h2
- abajo : a 5 cm del fondo del depósito (centro del depósito y bordes). Puntos b1 y b2

- Otros parámetros

La temperatura es también perfectamente homogénea en los tres niveles considerados hasta el final de la fermentación. De hecho no se observaron diferencias superiores a 0.1°C (que es la precisión de las sondas de temperatura) hasta la desaparición de los azúcares. Las medidas específicas de concentración de azúcar y de etanol tampoco mostraron ninguna heterogeneidad.

Así pues, en las condiciones de vinificación en blanco o en rosado, la agitación producida por la formación de CO₂ parece ser suficiente para mantener una perfecta homogeneidad durante toda la fermentación, excepto en una pequeña fracción, en la parte baja del depósito.

Importancia de la turbidez

La clarificación excesiva de los mostos puede provocar dificultades de fermentación. De hecho, las partículas sólidas desempeñan un papel positivo tanto a nivel nutritivo (fuentes de lípidos) como físico químico favoreciendo a la vez los intercambios medio-levadura y la nucleación del bióxido de carbono. Su impacto puede ser compensado por la agitación del medio (debido a la producción de CO₂) y es lógico que (i) este impacto será más significativo cuanto más pequeño es el volumen de reacción (escala de laboratorio) y (ii) que a esta escala y en el caso de mostos muy clarificados, las cinéticas fermentativas serán diferentes según si el fermentador está agitado mecánicamente o no (D. Plouy, 2000). ¿cuál es el impacto de la turbidez en la escala piloto ?

La figura 5 sintetiza las cinéticas obtenidas, con un mosto muy clarificado (filtrado) y el mismo mosto al que fueron adicionadas diferentes cantidades de lías finas (respectivamente 0.4% y 3% del volumen). Esta figura ilustra el papel esencial de la turbidez en la cinética fermentativa. No permite definir un 'índice ideal de lías' (que tendría que considerar las consecuencias organolépticas y el tipo de mosto) pero indica que debería situarse alrededor del 3% (que es un valor bastante frecuente). Destacar que la cuantificación de la turbidez es difícil porque su impacto no es sólo función de la cantidad de partículas sólidas sino también de su tamaño. Se expresa a menudo en NTU (el rango considerado generalmente como óptimo es 50 – 150 NTU).

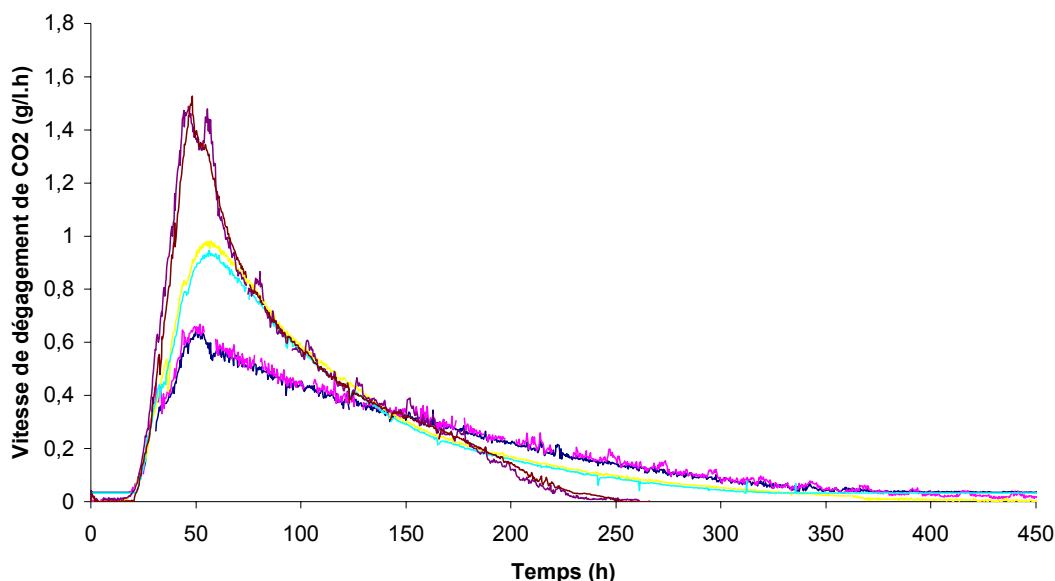


Figura 5 : Efecto de la turbidez sobre la velocidad de fermentación. Diferentes porcentajes de lías: 0%, 0.4% y 3% del volumen. Fermentaciones por duplicado.

Comparación escala piloto-escala industrial

Existen todavía pocos depósitos de dimensiones industriales equipados con un seguimiento en línea de la cinética fermentativa. Uno de ellos se encuentra en al Unidad experimental de Pech Rouge. Tiene las siguientes características :

- volumen : 110 hl
- control de la temperatura con una doble camisa
- medida del flujo de CO₂ con un flujómetro volumétrico tipoVenturi (Corrieu y otros, 1997)

La comparación con la escala piloto demuestra una casi perfecta sobreposición de las curvas (figura 6) . Esto acentúa todavía más el interés de las pruebas a escala piloto porque, aunque a pesar de que todavía no existen suficientes datos recopilados a escala industrial, podemos ya considerar que las fermentaciones a escala piloto son absolutamente representativas de las obtenidas a escala industrial.

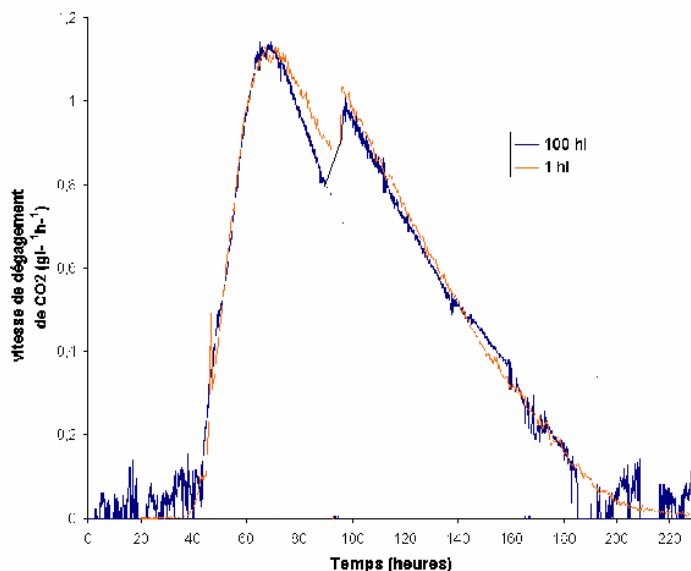


Figura 6 : Comparación de las cinéticas a escala piloto (1hl) y a escala industrial (100 h l)

Vinificación en tinto

Homogeneidad

- *Dispositivo experimental*

Para describir el comportamiento hidrodinámico de la vinificación en tinto en un depósito de 100 L, utilizamos :

Un depósito equipado con :

- 5 sondas de temperatura : 2 sondas en 2 niveles : (i) bajo (a 5 cm del fondo): S_{bf} y S_{bc} y (ii) medio del depósito (S_{mf} et S_{mc}) ; la 5ª sonda usada para la regulación, (sumergida en la fase líquida)
- 2 puntos de muestreo: nivel bajo (P_b): a 5 cm del fondo, nivel medio (P_m): a mitad altura (es decir, cerca de la parte baja del sombrero).
- Un depósito transparente, en PVC, para visualizar el mosto en fermentación, y en particular la formación del sombrero.

Cada depósito está equipado por un sistema de remontado manual. Cada remontado se realiza de forma estandarizada sumergiendo el sombrero 12 veces.

La vendimia utilizada fue previamente despallada y estrujada, la conducción de la vinificación se realizó de forma isotérmica a 28°C.

- *Formación del sombrero*



Foto 1



Foto 2



Foto 3

hoto

Fotos 1 a 3 : Formación del sombrero durante una vinificación en tinto. Foto 1 : encubado, foto 2 : después de la fermentación del 5% de azúcar, foto 3 : después de la fermentación del 40% de azúcar. Mosto de Mourvèdre fermentado a 28°C. Depósito de 100 litros.

Durante la fermentación, las partículas sólidas suben a la superficie y forman el sombrero que cada vez se hace más compacto (fotos 1 a 3 ejemplo con un mosto de mourvèdre). Esto da lugar a una reducción de su espesor sobre todo durante la primera mitad de la fermentación (tabla 1). Observar por otra parte que.

- Sólo una parte del sombrero se sumerge (aproximadamente la mitad). La parte superior que tiene poco o nada de líquido intersticial es muy heterogénea, por lo que respecta a la temperatura y a la población de levaduras.
- El espesor del sombrero varía según la cepa, en función del tamaño medio de las uvas. Así pues, en el caso de las 4 cepas estudiadas, el espesor final representa entre un 36% (en el caso de uvas Carignan) y un 35% (en el caso de uvas Marselan) de la altura total.

Fase de la fermentación (% de azúcar consumido)	Altura del sombrero (cm)	Altura del zumo (cm)
5%	60	40
40%	40	55
75%	36	58
90%	35	60

Tabla 1: Evolución del espesor del sombrero durante la fermentación. Mosto de Mourvèdre fermentado a 28°C.

Contrariamente al sombrero, la fase líquida se puede considerar homogénea durante la mayor parte de la fermentación como se puede observar en las tablas 2 y 3 que sintetizan respectivamente los valores de la temperatura y de la población de levaduras en varios puntos. Destacar que estos valores se determinaron antes de las operaciones de remontado. Solamente las medidas efectuadas durante el primer muestreo (después de 24 horas, cuando la producción de CO₂ acababa de empezar) indican una heterogeneidad significativa.

Así pues, la producción de CO₂ es suficiente para obtener, debajo del sombrero, una buena homogeneidad del medio.

Las medidas de la concentración de CO₂ disuelto dieron valores comprendidos entre 1.8 y 2 g/l, es decir una ligera sobresaturación.

Tiempos (h)	Fase de la fermentación (% de azúcar consumido)	T _{mc} (°C)	T _{bc} (°C)	T _{mf} (°C)	T _{bf} (°C)	Sonda de regulación (°C)
24	0,1 %	30,1	21,3	18,8	20,9	28,3
46	18 %	29,1	27,8	26	27,7	27,9
66	54 %	27,8	27,6	27,6	27,6	28,0
72	62 %	27,7	27,7	27,7	27,6	28,0
90	82 %	27,8	27,7	27,8	27,7	28,0
135	100 %	28	27,1	28	27,1	28

Tabla 2: Evolución de la temperatura durante la fermentación. Mosto de Carignan fermentado a 28°C.

2 sondas en 2 niveles: (i) bajo (a 5 cm del fondo): S_{bf} et S_{bc} y (ii) medio del depósito (S_{mf} ey S_{mc}); la 5ª sonda, utilizada para la regulación (sumergida dentro de la fase líquida)

Tiempo (h)	Fase de la fermentación (% de azúcar consumido)	P _b (10 ⁶ /ml)	P _m (10 ⁶ /ml)
24	0,1 %	1,2	1,9
46	18 %	62	56
66	54 %	131	134
72	62 %	138	140
90	82 %	113	117
135	100 %	51	55

Tabla 3: Evolución de la población de levadura durante la fermentación. Mosto de Carignan fermentado 28°C. P_b: nivel bajo del depósito, P_m: nivel medio del depósito

Impacto de los remontados

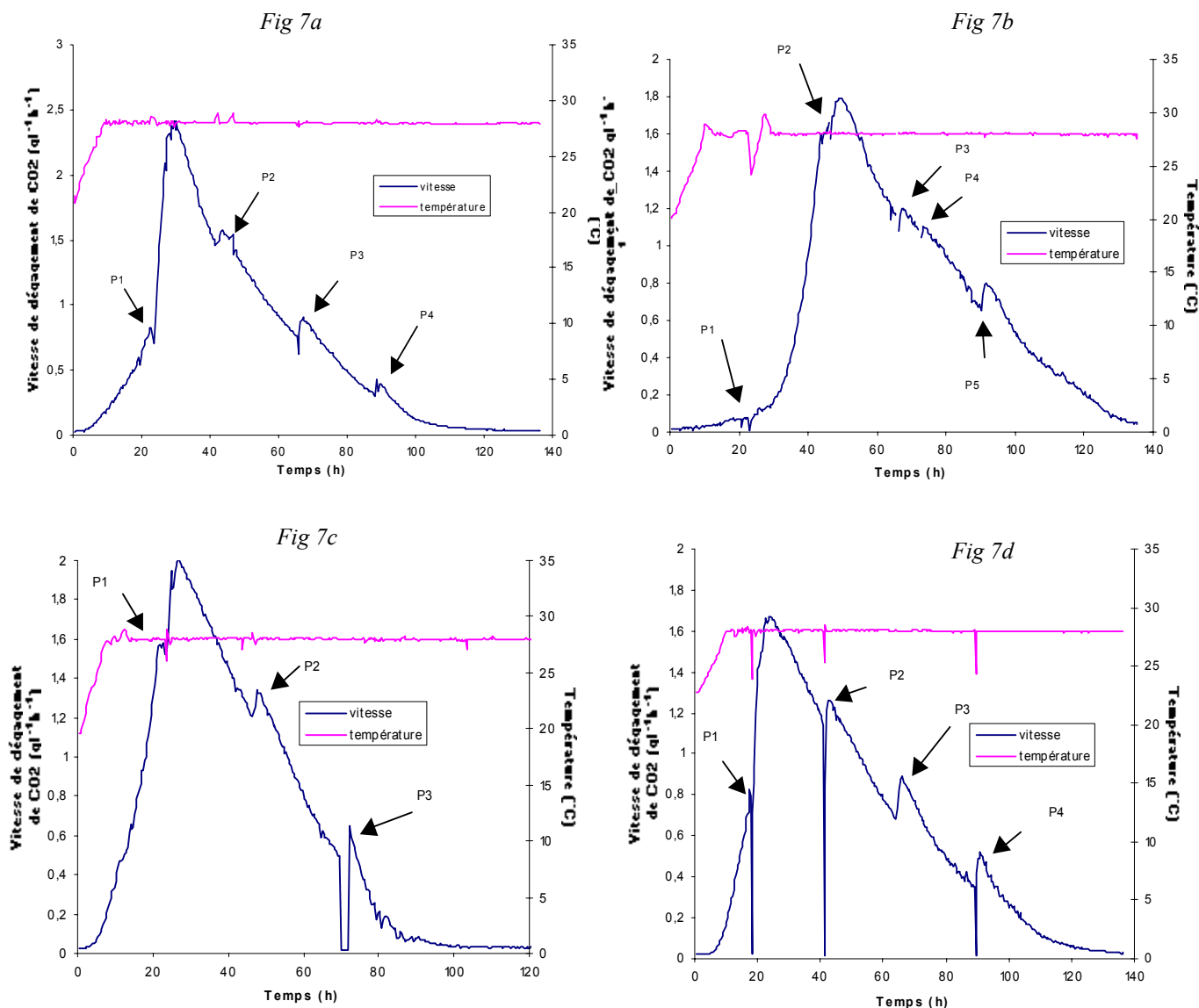


Fig 7 : Impacto de los remontados (P) sobre las cinéticas de fermentación. Mosto de Marselan (7a), Carignan (7b et 7c) y Mourvèdre (7d) fermentados a 28°C.

En la figura 7 se puede observar el impacto del remontado sobre las cinéticas de fermentación. Como se puede ver estas operaciones provocan un aumento muy significativo de la velocidad de fermentación. Este aumento es:

- Casi instantáneo, después se prolonga durante varias horas
- Más significativo aun cuando el remontado tiene lugar en la segunda mitad de la fermentación (fase estacionaria)

Numerosas hipótesis son, a priori, capaces de explicar esta aceleración de la cinética de fermentación durante el remontado :

- (1) aumento de la temperatura, como consecuencia de la inmersión del sombrero
- (2) disolución de sustancias nutritivas de las partes sólidas
- (3) suspensión de las levaduras inicialmente fijadas en el sombrero

Un análisis complementario indica que la hipótesis (1) se puede excluir porque la temperatura (medida en varios puntos) varía menos de 0,5°C, justo después del remontado.

La hipótesis (2) no es fácil de verificar. Por el contrario el mecanismo (3) se puede constatar : el aumento de la velocidad es sistemáticamente debido a un crecimiento de las poblaciones de levaduras medidas en los niveles bajo y medio (inicialmente debajo del sombrero). Un ejemplo se puede observar en la tabla 4. No es posible afirmar si este mecanismo es el único implicado pero seguramente es el principal.

Hay que observar también que pruebas preliminares habían demostrado una efecto similar de los remontados incluso cuando fueron realizados sin la apertura del depósito. Esto indica que, si la oxigenación puede desempeñar un papel beneficioso para la vitalidad de las levaduras durante el final de la fermentación, esta no esta implicada en el aumento de la cinética de fermentación.

Desde un punto de vista práctico, estos resultados ilustran el interés de operaciones de homogeneización tales como el remontado, no solo por la cesión de materia colorante (la razón principal de esta operación) sino también por su relación con el desarrollo de la fermentación.

Fase de la fermentación (% de azúcar consumido)	Momento del muestreo	Pb	Pm
5%	Antes P1	36	51
	Después P1	87	104
40%	Antes P2	132	136
	Después P2	181	176
75%	Antes P3	113	118
	Después P3	176	170
90 %	Antes P4	100	105
	Después P4	182	154

Tabla 4 : Evolución de la población de levaduras durante la fermentación antes y después del remontado. Mosto de Mourvèdre fermentado a 28°C. Pb : Nivel bajo del depósito, Pm : nivel medio del depósito.

Comparación con la escala industrial

Se ha podido comparar sólo con una fermentación realizada, en las mismas condiciones, en un depósito de 110 hl. A excepción del inicio de la fermentación (donde la evolución de la temperatura fue bastante diferente) las curvas obtenidas son perfectamente comparables (figura 8).

Así pues la escala piloto se puede considerar representativa (al menos por lo que respecta a la evolución de la fermentación) incluso en el caso de la vinificación en tinto.

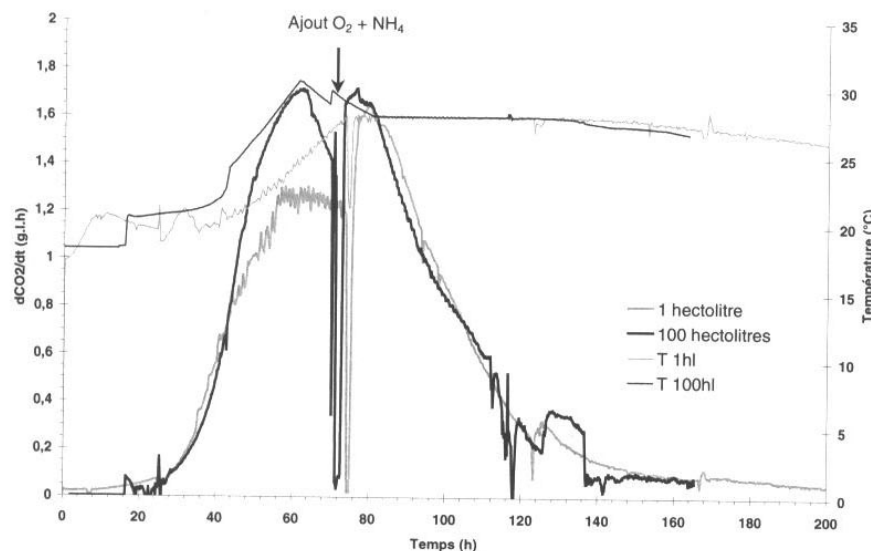


Fig. 8. Comparación de las cinéticas a escala piloto (1hl) y a escala industrial (100 hl) en el caso de la vinificación en tinto.

Conclusión

La escala piloto, con volúmenes de los depósitos del orden de 1 hl, , representan un buen compromiso a la hora de realizar experimentos sobre la fermentación en condiciones enológicas. Permite, en efecto, controlar la condiciones de puesta en práctica, de realizar duplicados e incluso triplicados todo ello manteniendo representativas las condiciones industriales.

La instalación disponible en la Unidad Experimental de Pech Rouge permite por otra parte almacenar los mostos de manera estéril y de esta forma realizar fermentaciones (en fase líquida) durante todo el año. El efecto de la conservación de los mostos y el interés y la validez de tales fermentaciones en diferido se discutirá en el próximo artículo (parte III).

Agradecimientos

Los autores agradecen a Damien Plouy, Christian Picou et Marc Pérez su participación en este estudio.

Bibliografía

AGUERA E., PICOU C., PEREZ M., SABLAYROLLES J.M., 2005. Vinification à l'échelle pilote (100l) – I : exemple de la halle pour fermentations différées de l'INRA Pech Rouge.. Wine Internet Technical Journal (www.vinidea.net)

CORRIEU G., MERICAN F., PERRET B., (1997), Device for fluid pressure loss and fluid flow measurement in pipe located in an alcohol fermentation process”, French Patent publication n° FR2746914

GARCIA A.I., PENDIELLA S.S., GARCIA L.A., DIAZ M., 1994. Mechanisms for mixing and homogenization in beer fermentation, *Bioprocess Engineering*, 10, 179-184.

MALHERBE S., 2003. Modélisation de la fermentation alcoolique en conditions œnologiques. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II.

PLOUY D., 2000. Caractérisation de fermenteurs œnologiques à l'échelle du 100 litres. Mémoire d'Ingénieur. Fachhochschule Giessen-Friedberg Fachbereich.