

VINIFICACIÓN A ESCALA PILOTO (100 l).

I : Ejemplo de la instalación para fermentaciones diferidas de el INRA Pech Rouge.

E. AGUERA*, **C. PICOU****, **M. PEREZ****, **J.M. SABLAYROLLES****

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

Introducción

La experimentación enológica tiene que enfrentarse a numerosas limitaciones. En la bodega este tema resulta especialmente delicado debido a la estacionalidad de la cosecha (de uno a dos meses al año) pero también debido a las dificultades que se encuentran a la hora de poner en marcha experimentos en un modo perfectamente riguroso: (i) se trabaja con grandes volúmenes y, por lo tanto resultan muy complicadas las operaciones para obtener condiciones experimentales testigo perfectamente representativas o duplicables, (ii) poca disponibilidad de experimentadores durante este periodo.

Por el contrario, los experimentos a escala muy pequeña permiten un mejor control de las condiciones de trabajo y disponer de materia prima durante un periodo más largo pero presentan el problema de la representatividad de los resultados, en particular por lo que se refiere a las características de los vinos obtenidos.

La escala piloto parece por lo tanto un buen compromiso pero, paradójicamente su interés enológico resulta injustamente criticado. Nos ha parecido por lo tanto interesante poder contribuir a aclarar esta cuestión, tanto más que disponemos de una instalación, desde hace 4 años, que permite, en particular (i) la conservación estéril de los mostos (hasta 210 hl) durante un año (ii) la fermentación de estos mostos en una batería de depósitos equipados para poder seguir y controlar de forma precisa las fermentaciones gracias a una medida en línea de la velocidad instantánea de fermentación y (iii) el tratamiento conjunto de las operaciones post-fermentativas así como de los análisis físico-químicos y organolépticos de los vinos.

En este primer artículo, nuestro objetivo es el de describir esta instalación, como ilustración de las potencialidades de un dispositivo experimental a escala piloto.

Descripción de las instalaciones de fermentación

Depósitos

La instalación dispone de 16 puntos de fermentación (vista parcial en la fotografía 1). Son depósitos de 100 litros en acero inoxidable (316L) con un diámetro de 400 mm y una altura útil de 800 mm. La tapa movable (foto 2) tiene numerosos orificios incluyendo uno para el muestreo (tubo de \varnothing 51mm hundido en el mosto de forma que permite la toma de muestras sin pérdidas de gas del fermentador) y uno para la salida del CO₂. Existe también un orificio central, usado para el pisado en el caso de la vinificación en tinto, así como dos pasadores para regular la temperatura y una sonda que permite medir la temperatura en el corazón de la cuba.

Control de la temperatura :

La regulación térmica de los depósitos se realiza por circulación de agua en dos pasadores de regulación (longitud de cada pasador = 95cm, diámetro = 12 mm). Esto se realiza abriendo o cerrando electroválvulas, situadas respectivamente en un circuito de agua caliente (temperatura de cerca 40°C) alimentado por una caldera y en un circuito conectado con un equipo de frío (temperatura del agua comprendida entre 10 y 15°C según el régimen de temperatura deseado) (foto 2). Los dos circuitos fueron diseñados según un bucle de Tickelman con el objetivo de obtener el mismo flujo en todos los pasadores, cualquiera que sea el número de depósitos que se estén utilizando.

El sistema de control es de tipo "todo o nada", con una banda muerta, que permite una regulación con una variación de cerca 0.1°C.



Foto 1 : Instalación para la fermentación

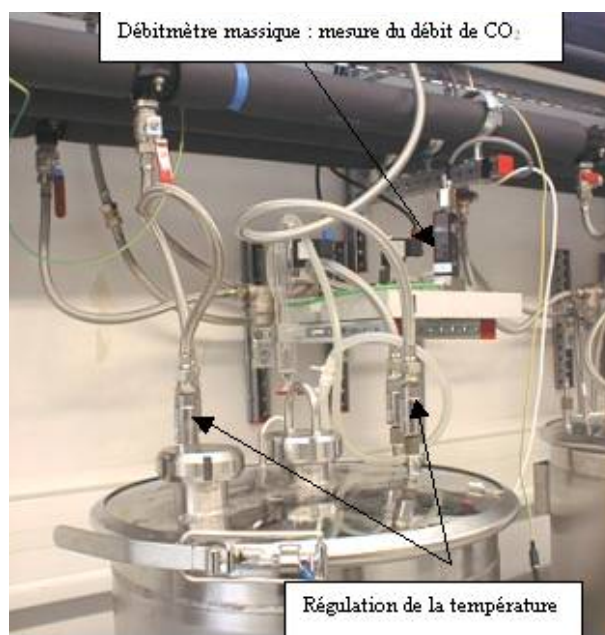


Foto 2 : tapa de un depósito (detalle)

Control de la oxigenación

La introducción de oxígeno se realiza a través de un difusor situado en un anillo de recirculación del mosto en fermentación. Se efectúa una calibración preliminar para determinar la cantidad de oxígeno realmente transferida al medio. (Gerland y otros, 1998). Esto permite calcular el coeficiente (Kl_a), y a continuación la velocidad, de transferencia de oxígeno. Este coeficiente mantiene un valor casi constante durante la fermentación (Blateyron y otros, 1998), lo que permite, en unas condiciones de funcionamiento determinadas (tipo de difusor, flujo de oxígeno, flujo de recirculación...), estimar la cantidad de oxígeno transferida a las levaduras, cualquiera que sea el estadio de fermentación. En nuestras condiciones estándar, hemos utilizado un difusor Air-Liquide (referencia : N10A), con un flujo de oxígeno de 5 l/h y un flujo de recirculación de 20 hl/h, esto corresponde a un valor de Kl_a de $2,27 \text{ h}^{-1}$ y a una velocidad de la transferencia del oxígeno de $1,2 \text{ mg l}^{-1} \text{ min}^{-1}$. Así un aumento de 5 minutos permite añadir 6 mg de oxígeno / l. Hay que señalar que (i) esta moderada velocidad de introducción y (ii) el consumo simultáneo de oxígeno por las levaduras permite limitar en gran medida, incluso eliminar, los riesgos de oxidación del mosto.

Medida en línea de la velocidad de producción del CO_2

- Principio

El control de la fermentación se ha realizado gracias a una medida automática del CO_2 producido. De hecho, existe una relación directa entre la producción de CO_2 , el consumo de azúcar y la producción de alcohol (El Haloui y otros 1988). La integración de este valor permite calcular la cantidad total de CO_2 liberado y, por lo tanto deducir el contenido de azúcares residuales y la concentración de alcohol.

- Tecnología utilizada

El sensor elegido para medir el flujo del CO_2 es un flujómetro (Brooks TR) que se basa en el siguiente principio de medida: el gas liberado durante la fermentación pasa por un tubo equipado con una derivación de diámetro más pequeño. Las proporciones de gas que pasan por las dos piezas son constantes. La pared de la derivación está calentada de manera uniforme por una resistencia. Dos sensores de temperatura miden el gradiente de temperatura en el flujo del gas. El flujo del gas es proporcional a este gradiente. Hay que tener en cuenta que el gas tiene que ser suficientemente seco, para ello se requiere una trampa para el agua y un condensador.

El flujo máximo de los flujómetros utilizados es de 140 l/h.

Modo de conducir las fermentaciones

Sistema de seguimiento-control

El sistema de control de las fermentaciones ha sido desarrollado especialmente por el INRA. Se trata de un sistema evolutivo (posibilidad de añadir nuevos sensores, por ejemplo) controlado por un software que utiliza un lenguaje Labview. Este software permite:

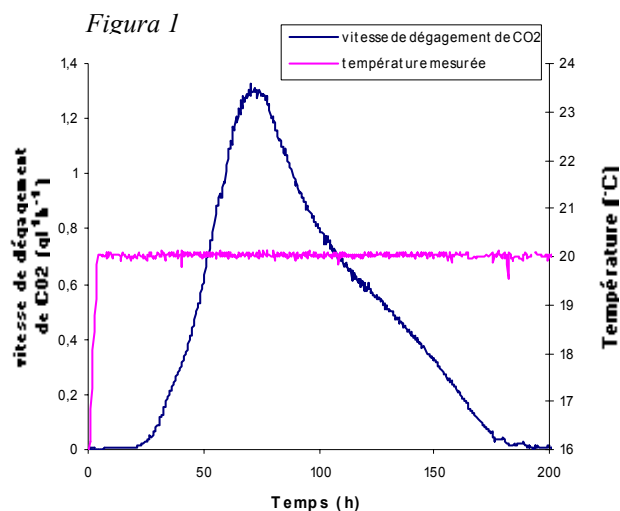
- el seguimiento de las fermentaciones: el flujo de producción de CO₂ se mide cada 20 segundos (frecuencia que se puede ajustar). El valor considerado es la media de los valores obtenidos entre dos stokages (generalmente 20 minutos). La temperatura se mide a través de una sonda pt100 con una frecuencia de 5 segundos (frecuencia que puede ser modificada).
- la memorización de los parámetros: tiempo, velocidad instantánea de producción de CO₂ (g/l.h), CO₂ producido acumulado (g/l), temperatura impuesta (°C), temperatura medida (°C) y tiempo que permanecen abiertas las electroválvulas de los circuitos de frío y calor.
- el control de las fermentaciones: existen numerosas posibilidades de gestión de la temperatura (párrafo siguiente)

Ejemplos de gestión de la temperatura

Los ejemplos siguientes describen las diferentes potencialidades de la instalación por lo que se refiere al control de la temperatura. Ilustran también el interés del seguimiento en línea de la velocidad de fermentación que es mucho más preciso que el seguimiento manual (de la densidad, por ejemplo).

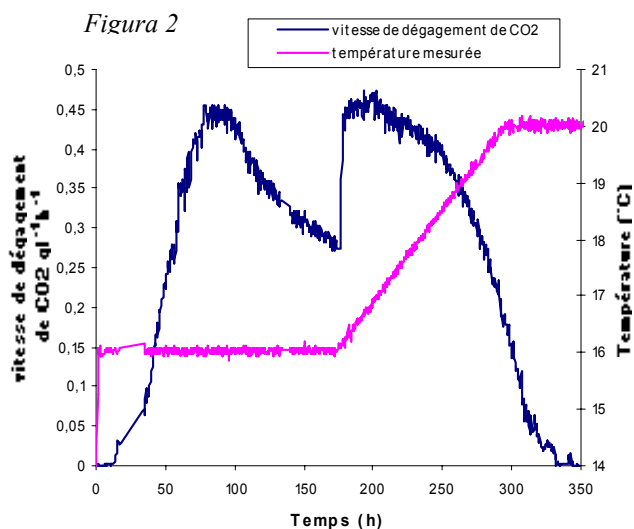
-Regulación en isoterma (figura 1)

Se trata del modo más simple de conducir las fermentaciones. En este caso la velocidad de producción de CO₂ pasa por un máximo y a continuación, acabada la multiplicación celular (poco tiempo después de haber alcanzado la velocidad máxima de producción de CO₂), esa velocidad disminuye de forma continua hasta el final. En el ejemplo de la figura 1, la caída es más rápida al final de la fermentación, cuando el azúcar residual es un factor limitante. En el caso de "fermentaciones débiles" (ejemplos: figuras 4 y 5), esta caída es mucho más progresiva.



-Programación de la temperatura en función del tiempo (figura 2)

La temperatura puede ser programada en función de la fase de fermentación. En el ejemplo de la figura 2, el mantener la temperatura a 16°C al inicio de la fermentación permite limitar el valor de la velocidad máxima de fermentación (factor considerado generalmente deseable) ya que el aumento gradual de la temperatura permite un final más rápido. Hay que señalar también en este ejemplo la adición de 300 mg/l de fosfato de amonio (a t = 150 h), cuya eficacia (instantánea

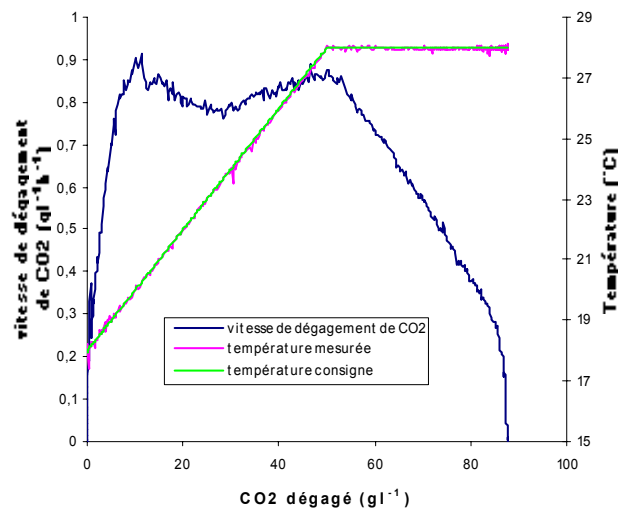


y muy importante) puede ser cuantificada con gran precisión.

-Programación de la temperatura en función del CO₂ (figura 3)

La evolución de la temperatura puede ser igualmente programada en función del CO₂, (proporcional al avance de la reacción, así como al consumo de los azúcares, y a la producción de alcohol). Comparado con el modo precedente de conducir la fermentación, éste nos permite liberarnos del factor tiempo y al mismo tiempo considerar la evolución de la composición del medio. Es un modo de control que permite integrar una de las características esenciales de los mostos: la variabilidad de su fermentabilidad, en función de su composición en sustancias nutritivas. Hay que observar la superposición perfecta de las temperaturas impuesta y medida.

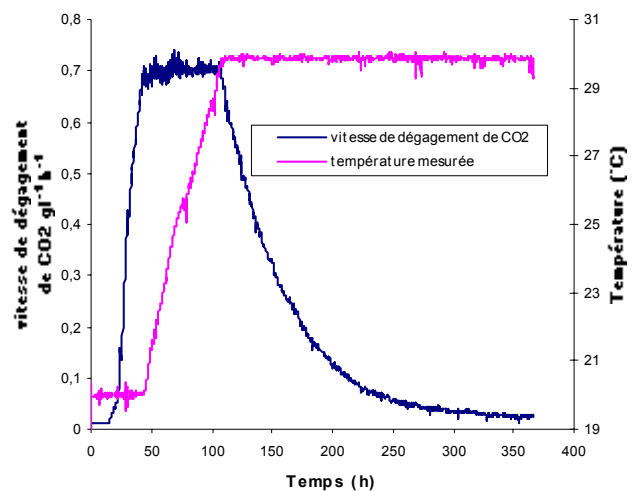
Figura 3



-Control de la velocidad de fermentación actuando sobre la temperatura. (figura 4)

Durante la mayor parte de la fermentación, la velocidad de fermentación disminuye porque la actividad de las levaduras se reduce (inhibiciones y escasez de sustancias nutritivas). Esta reducción puede ser compensada por un aumento controlado de la temperatura y de esta manera es posible obtener fermentaciones (o fracciones de fermentación) durante las cuales la actividad de las levaduras permanece constante. Este modo de conducir la fermentación es interesante sobre todo en el caso de programas de investigación donde se desea controlar la actividad fermentativa de las levaduras. En el ejemplo de la figura 4, la velocidad ha sido mantenida constante en su valor máximo (a 20°C) hasta llegar a la temperatura máxima (aquí 30°C)

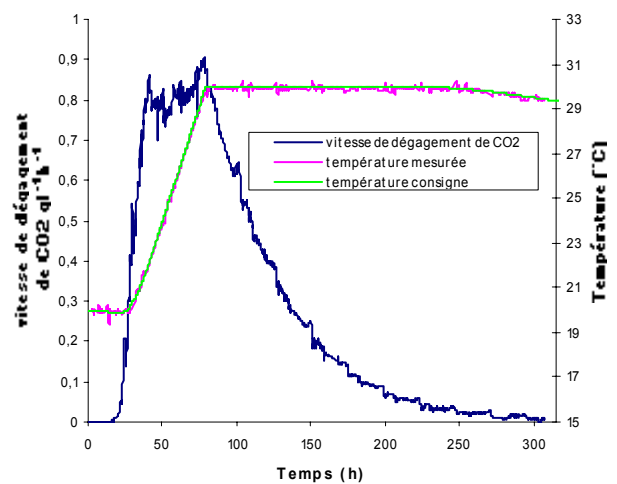
Figura 4



-Simulación de un régimen térmico en depósitos industriales (figura 5)

En la práctica, en los depósitos de tamaño industrial, hay largos periodos durante los cuales el régimen de temperaturas no es una isoterma, la temperatura aumenta libremente (hasta un punto final definido). Si se desea reproducir esta evolución de la temperatura en depósitos de 100 l, donde las pérdidas térmicas son muy diferentes, es necesario disponer de un módulo de simulación al interno del software de control.

Figura 5



Este nos permite calcular, por una parte, la velocidad de producción de calorías (proporcionales a la velocidad de fermentación) y, por otra parte, las pérdidas térmicas. Es entonces posible reproducir un régimen térmico parecido al de un depósito industrial.

Repetibilidad de las fermentaciones

Vinificación en blanco

La figura 6 representa las cinéticas de fermentación obtenidas con dos cepas diferentes. Las fermentaciones han sido realizadas en duplicado. Los duplicados son perfectamente superponibles, e incluyen la fase de adición de las sustancias nutritivas y de aumento de la temperatura (estas operaciones se han realizado en momentos de reacción idénticos para las dos cepas). De esta forma, con este dispositivo es posible evidenciar pequeñas diferencias, pero significativas, entre condiciones experimentales (en este caso el efecto de la cepa de levadura).

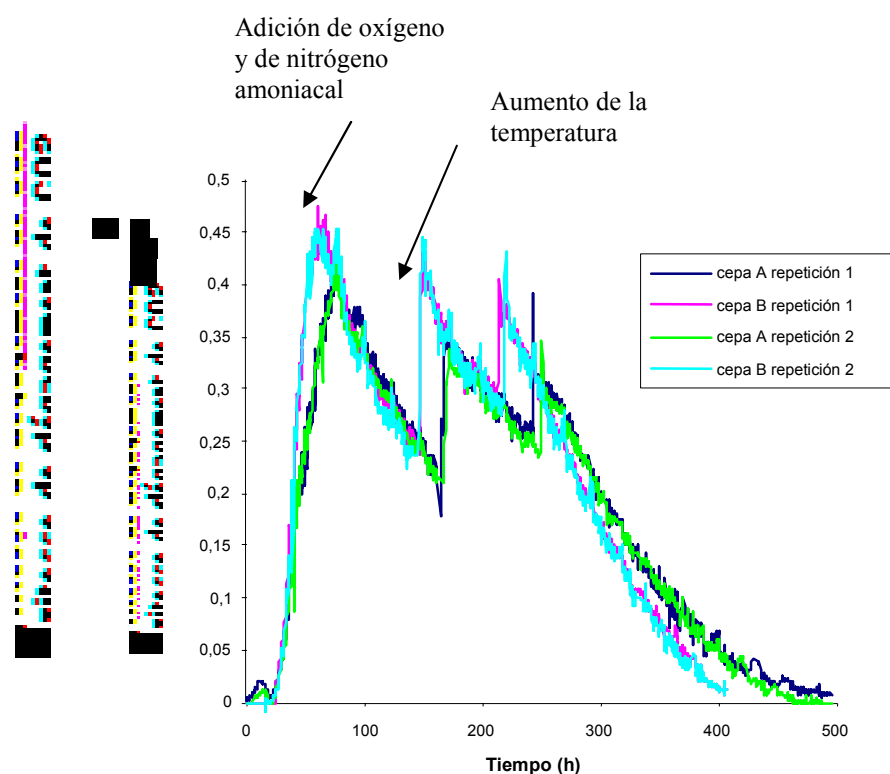


Figura 6. Comparación entre cinéticas observadas con 2 cepas de levadura (fermentaciones en duplicado)

vinificación en tinto

- Repetibilidad

En el caso de las vinificaciones en tinto, la primera etapa consiste en realizar lotes homogéneos entre los diferentes depósitos, lo que necesita unas normas de recogida manual de la uva.

En estas condiciones, es posible obtener una buena repetibilidad incluido la realización de pisados diarios (ejemplo figura 7).

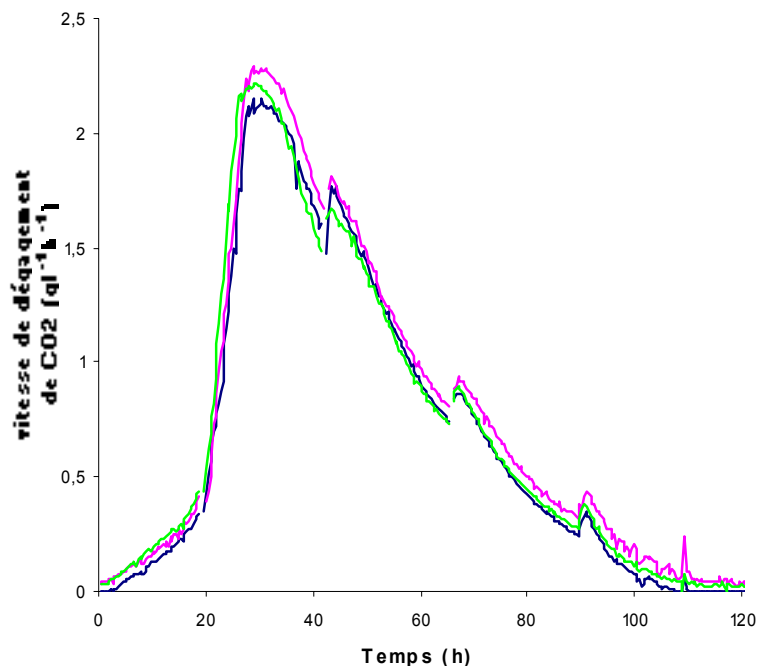


Figura 7. Repetibilidad de las cinéticas de fermentación en condiciones de fermentación en tinto (con un pisado diario).

Conclusión

Una instalación tal como la de la Unidad Experimental de Pech Rouge permite efectuar fermentaciones a escala piloto de forma perfectamente controlada y reproducible. Permite así mismo realizar seguimientos muy precisos y modos de conducir particulares que son de gran interés especialmente en el caso de estudios de fermentaciones en condiciones no isotermas.

En los próximos artículos, (parte II) describiremos las experimentaciones realizadas a esta escala (interés, representatividad...) tanto en condiciones de vinificación en blanco como en tinto, a continuación (parte III) hablaremos del impacto de la conservación de los mostos (durante diversos meses) sobre el desarrollo de las fermentaciones y sobre las características de los vinos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Jean-Louis Roustan su ayuda para la realización de esta instalación.

Bibliografía

BLATEYRON L., AGUERA E., DUBOIS C, GERLAND C., SABLAYROLLES J.M., 1998. Control of oxygen addition during alcoholic fermentations. *Vitic. Enol. Sci.*, 53, 131-135

EL HALOUI N., PICQUE D., CORRIEU G., 1988. Alcoholic fermentation in wine making : on line measurement of density and carbon dioxide evolution. *J. Food Eng.*, 8, 17-30.

GERLAND C., BLATEYRON L., SABLAYROLLES J.M., 1998. Etude du transfert d'oxygène en conditions oenologiques pour lutter contre les arrêts de fermentation. 5^{ème} Symposium International en Oenologie « Microorganismes et l'élaboration des vins ». Stuttgart, 11-12 mai.