



**Caractère combustible d'un  
stockage de bouteilles de vin**

**DRA 31 – Opération I3**

Rapport Final

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

*C. CHIVAS*

*DRA - Unité Incendie - Ventilation*

**JANVIER 2005**

# Caractère combustible d'un stockage de bouteilles de vin

## DRA 31 – Opération I3

Rapport Final

**JANVIER 2005**

PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'ETUDE  
P.FLEURY, C.MALVAUX

Ce document comporte 25 pages (hors couverture et annexes)

	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
<b>NOM</b>	C. CHIVAS	S. DUPLANTIER	F. ABIVEN
<b>Qualité</b>	Ingénieur Unité INVE Direction des Risques Accidentels	Responsable Unité INVE Direction des Risques Accidentels	Délégué Appui à l'Administration
<b>Visa</b>			

## TABLES DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION : CONTEXTE ET NATURE DE L'ETUDE.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>RISQUES LIÉS À LA COMBUSTION DE L'ÉTHANOL ET DEMARCHE DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>6</b>
2.1	GÉNÉRALITÉS SUR LE VIN .....	6
2.1.1	Composition du vin .....	6
2.1.2	Caractéristiques de l'éthanol .....	7
2.1.3	Description de la démarche .....	8
2.2	ETUDE DU POINT D'ÉCLAIR.....	10
2.2.1	Essais préliminaires .....	10
2.2.2	Essais normalisés .....	11
<b>3</b>	<b>ETUDE DE LA COMBUSTIBILITÉ DU VIN.....</b>	<b>13</b>
3.1	DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.....	13
3.2	RÉSULTATS DES ESSAIS RÉALISÉS SUR LA COMBUSTIBILITÉ DU VIN .....	14
3.2.1	Référence avec un produit incombustible : l'eau .....	14
3.2.2	Combustibilité du vin selon le degré d'alcool.....	17
3.2.3	Combustibilité du vin selon le type de conditionnement .....	19
3.2.4	Etude de la combustion d'un vin à 12% Vol. conditionné dans des bouteilles en verre .....	22
<b>4</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>25</b>

## 1 INTRODUCTION : CONTEXTE ET NATURE DE L'ETUDE

Le MEDD s'interroge sur la combustibilité d'un stockage de bouteilles de vin dont le conditionnement pourrait être en verre, en plastique ou en carton. L'INERIS, pour répondre à cette demande, propose dans le cadre du programme DRA 31, opération I3, de déterminer la combustibilité d'un tel stockage.

Il n'existe pas de critère quantitatif objectif pour définir le caractère combustible d'un produit. La seule base pour déterminer ce caractère consiste à rappeler la définition de ce terme. Le *Petit Larousse* qualifie de « combustible » une substance qui a la propriété de brûler et de se consumer (cas de la quasi totalité des substances organiques). Cette définition est reprise par la norme NF EN ISO 13943 (2000), en qualifiant de « combustible » tout objet pouvant brûler. Selon le Comité Européen des assurances – commission incendie (1999), une classification des matières et des marchandises a été réalisé selon leurs propriétés de combustibilité (Tableau 1).

Degré de danger						
	1	2	3	4	5	6
Liquides	Point d'éclair < 21°C	Point d'éclair 21°C à 55°C	Point d'éclair >55°C à 100°C	Point d'éclair >100°C	Difficilement combustibles (sans point d'éclair, qu'avec feu d'appui)	incombustible

*Tableau 1 : Classification des liquides selon leurs propriétés de combustibilité (Extrait du tableau de classification « incendie », Comité Européen des assurances – commission incendie (1999))*

Toujours selon le même dictionnaire, une matière « inflammable » est une matière qui s'enflamme facilement (qui subit une combustion avec développement de flamme).

Par ailleurs, pour des liquides, trois caractéristiques servent de point de repère pour l'appréciation de leur inflammabilité : il s'agit du point éclair (flash point), du point de feu (fire point) et de la température d'auto-inflammation (auto-ignition temperature).

- Le point d'éclair est la température minimale nécessaire, dans des conditions opératoires déterminées, permettant l'inflammation des vapeurs émises par un liquide (en mélange dans l'air) en présence d'une flamme (norme NF EN ISO 13736).
- Le point de feu est la température (plus élevée de quelques degrés en général) qui permet cette inflammation, sans maintien de la flamme ayant provoqué l'allumage.
- La température d'auto-inflammation est la température minimale nécessaire pour l'obtention de l'inflammation sans l'assistance d'une flamme pilote (toujours dans les conditions opératoires déterminées).

La définition du vin à l'échelon communautaire, figure aujourd'hui dans une nouvelle codification élaborée le 17 mai 1999 : le vin est "le produit obtenu exclusivement par la fermentation alcoolique, totale, ou partielle, de raisins frais, foulés ou non, ou de moûts de raisins". La définition communautaire ne donne pas d'indications sur le titre alcoométrique, l'acidité, les pratiques œnologiques autorisées... Ceux-ci sont précisés au niveau des différentes catégories de vin. Cependant, il est à noter que le titre alcoométrique d'un vin commercialisé peut varier de 9% Vol. à 15% Vol. maximum <sup>[1]</sup>.

Concernant le type d'emballage du vin, une étude <sup>[2]</sup> sur le type de conditionnement utilisé pour les vins commercialisés en France en 2001 montre que :

- 77,3% sont des bouteilles de verre,
- 9,9% sont des cubitainers,
- 6,3% sont des bouteilles plastiques,
- 4,4% sont des briques en carton.

Il apparaît donc nécessaire de tenir compte de ce paramètre dans le cadre de cette étude.

La démarche retenue dans cette étude comporte trois étapes :

- la première étape consiste à étudier la combustibilité intrinsèque d'un vin sans emballage.
- la deuxième étape concerne l'étude de l'influence du pourcentage volumique d'alcool sur la combustibilité du vin. Ces essais ont été réalisés pour un type de conditionnement.
- la dernière étape porte sur l'influence du type de conditionnement pour un pourcentage volumique d'alcool fixé.

Les résultats obtenus en fonction du pourcentage volumique d'alcool et du type d'emballage seront comparés à ceux obtenus en remplaçant le vin par de l'eau, qui est un liquide incombustible.

---

<sup>[1]</sup> <http://www.sommelier-on-line.com/p28.html>

<sup>[2]</sup> Quid 2005 : « Vignes, vins et alcools »

## 2 RISQUES LIÉS À LA COMBUSTION DE L'ETHANOL ET DEMARCHE DE L'ETUDE

---

### 2.1 GENERALITES SUR LE VIN

#### 2.1.1 Composition du vin

La composition des vins étant complexe. Les principaux composés des vins sont récapitulés dans le Tableau 2.

Composés	Concentration (g/L)
Eau	750 à 900
Oses	0,10 à 2
Polyosides	2 à 4
Alcools et composés volatils	70 à 120
Polyols	5 à 20
Acides organiques	3 à 20
Cations	1 à 3
Polyphénols	2 à 6
Composés azotés	0,1 à 0,8
Lipides	$10 \cdot 10^{-3}$ à $50 \cdot 10^{-3}$
Vitamines	$100 \cdot 10^{-6}$ à $500 \cdot 10^{-6}$
Extrait sec	17 à 30

Tableau 2 : Principaux composés du vin (Extrait des Techniques de l'Ingénieur (F 3270))

### 2.1.2 Caractéristiques de l'éthanol

En dehors de l'eau, le composé principal du vin est l'éthanol, il apparaît donc nécessaire de faire un récapitulatif succinct sur les principales caractéristiques de l'éthanol.

Les principales propriétés de l'éthanol sont regroupées dans le tableau ci-après.

Numéro CAS	64 - 17 - 5
Numéro CEE	603 - 002 - 00 - 5
Formule	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH
Masse molaire	46,07 g
Etat physique à 20 °C	liquide
Masse volumique	789 kg/m <sup>3</sup>
Densité des vapeurs (air = 1)	1,59
Point de fusion	-114 °C
Point d'ébullition	78,5 °C
Tension de vapeur (20 °C)	5,85 kPa
Points éclair (coupelle fermée / coupelle ouverte)	12,8 °C 16 °C
LIE	3,3 %
LSE	19 %
Température d'autoinflammation	363 °C < < 425 °C
Chaleur de combustion	26,8 MJ/kg

Tableau 3 : Principales propriétés de l'éthanol (fiche INRS 48)

L'alcool éthylique est un liquide facilement inflammable dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air. Les solutions aqueuses peuvent aussi s'enflammer aisément, en effet, le point éclair d'une solution à 10% est de 49°C (fiche INRS 48).

L'alcool peut réagir vivement avec des oxydants puissants. Les feux d'éthanol se caractérisent par des flammes importantes peu éclairantes, un faible dégagement de fumées et un rayonnement thermique intense.

Les agents d'extinction préconisés sont les mousses spéciales pour liquides polaires, poudres, dioxyde de carbone. En général, l'eau n'est pas recommandée car elle peut favoriser la propagation de l'incendie. Elle pourra toutefois être utilisée sous forme pulvérisée pour éteindre un feu peu important ou pour refroidir les récipients exposés au feu et disperser les vapeurs.

En raison notamment de l'inflammabilité de l'alcool, des mesures de prévention et de protection s'imposent lors de son stockage et de son utilisation.

L'inflammabilité, définie par la mesure du point d'éclair du liquide, a été étudiée pour des mélanges éthanol/eau (Ullmann's Encyclopedia of Chemistry). Les résultats sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

<i>Ethanol (wt %)</i>	<i>Flash point °C</i>
<b>100</b>	13
<b>94.5</b>	16
<b>80</b>	19.5
<b>70</b>	21.5
<b>60</b>	22.6
<b>50</b>	24.5
<b>40</b>	26.5
<b>30</b>	30
<b>10</b>	46
<b>5.5</b>	56

*Tableau 4 : Point d'éclair des mélanges éthanol/eau (Extrait de Ullmann's Encyclopedia of Chemistry)*

### 2.1.3 Description de la démarche

La démarche de l'étude consiste dans un premier temps à définir la combustibilité intrinsèque du vin, puis dans un deuxième temps à étudier l'influence de l'emballage.

Dans un premier temps, des essais préliminaires sur l'inflammabilité du vin ont été réalisés en faisant varier le pourcentage volumique d'alcool. Pour chaque pourcentage volumique, des mesures de points d'éclair ont été effectués en s'appuyant sur la norme NF EN ISO 13736.

L'ensemble des solutions de vin de 13% Vol. à 16% Vol. a été obtenu par augmentation du pourcentage volumique d'alcool d'un vin commercial à 11% Vol. par de l'eau de vie à 40% Vol.

*Par exemple* : Un litre de vin à 11% Vol. contient 88g d'alcool pur, déterminé à l'aide de la densité volumique du liquide selon le principe de Gay-Lussac. Pour obtenir une solution à 13% Vol., contenant 104,275g d'alcool pur dans 1L de vin, il faut rajouter 16,216g d'alcool à 100%. Sachant qu'un litre d'eau de vie à 40% Vol. contient 329,521g d'alcool pur, il faudra 1000ml de vin à 11% Vol. et 49,2ml d'alcool à 40% Vol., pour obtenir un alcool à 13% Vol.

L'ensemble des solutions de vin réalisées est répertorié dans le tableau ci-dessous.

Pourcentage volumique d'alcool (% Vol.) du vin	Poids d'alcool dans 1 Litre (g) <sup>[3]</sup>	Volume d'alcool à 40% Vol. à rajouter dans 1L d'alcool à 11% Vol. (ml)
<b>11</b>	88,06	0
<b>12</b>	96,15	24,6
<b>13</b>	104,28	49,2
<b>14</b>	112,66	74,7
<b>15</b>	120,57	98,7
<b>16</b>	128,75	123,5

Tableau 5 : Elaboration des solutions ayant des degrés alcooliques variant de 11% Vol. à 16% Vol.

Il est à noter qu'une vérification des pourcentages volumiques d'alcool de nos solutions a été effectuée à posteriori au moyen d'un alcoomètre.

Au préalable, le vin (liquide fermenté possédant un titre alcoolique) doit être distillé pour fournir d'une part, un distillat (mélange d'eau et d'éthanol) et d'autre part, un résidu (tanins). Le principe de la distillation est basée sur les différences de volatilité de ces divers composés. Un alcoomètre (alcoomètre volumique de classe II) a été utilisé pour déterminer le degré alcoolique d'un mélange d'alcool éthylique (éthanol) et d'eau pure.

Les résultats obtenus sont les suivants :

% Vol.	Degré expérimental obtenu à l'alcoomètre à 20°C
<b>Vin à 11</b> (commercial)	11
<b>Vin à 13</b> (obtenu à partir du vin à 11)	12,9
<b>Vin à 16</b> (obtenu à partir du vin à 11)	15,5

Tableau 6 : Etude du degré d'alcool dans le vin par alcoométrie

Les valeurs expérimentales obtenues à l'aide d'un alcoomètre sont en accord avec les degrés alcooliques théoriques du vin.

<sup>[3]</sup> Extrait des tables de Gay-Lussac

Dans un second temps, l'étude de la combustibilité du vin porte d'une part, sur l'influence du pourcentage volumique d'alcool pour un type de conditionnement, et d'autre part, sur le mode de conditionnement du vin pour un seul pourcentage volumique d'alcool.

## 2.2 ETUDE DU POINT D'ECLAIR

### 2.2.1 Essais préliminaires

Des essais préliminaires ont été effectués pour déterminer le pourcentage volumique d'alcool à partir duquel il pourrait y avoir une inflammation du vin. L'objectif est de définir les pourcentages volumiques d'alcool à étudier plus précisément avec leurs emballages.

Cette démarche consiste à placer un échantillon d'un volume de 1 litre environ d'alcool dans une coupelle de 25cm de diamètre dont le degré alcoolique varie de 12% Vol. à 16% Vol. Celui-ci est ensuite chauffé par un chalumeau placé sous la coupelle pendant 3 minutes et les vapeurs d'alcool émanant du récipient sont alors enflammées (Figure 1).

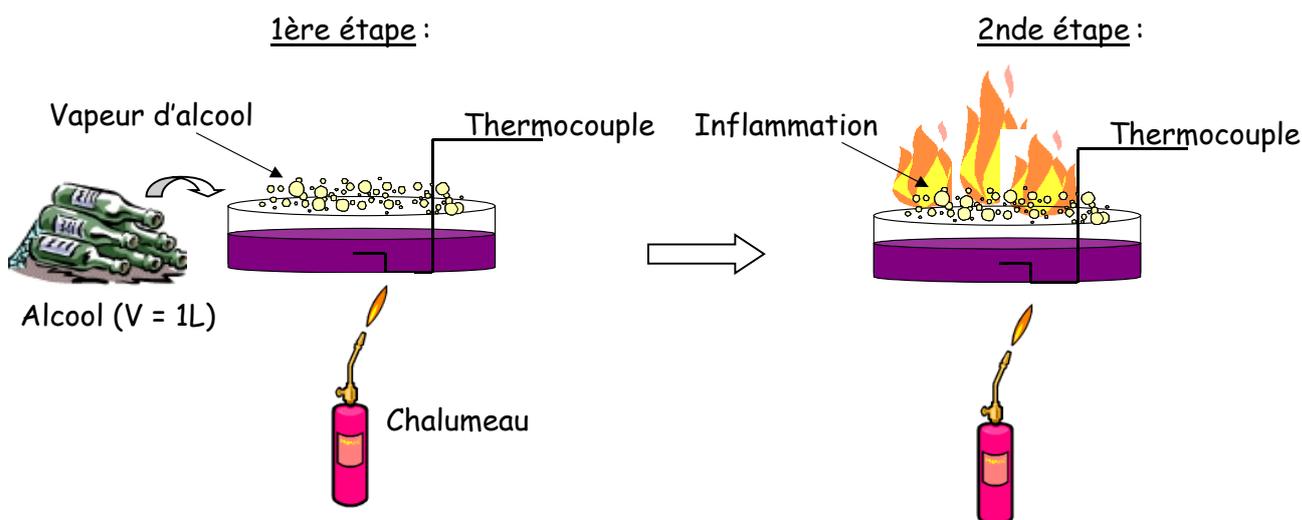


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental sur l'inflammation du vin selon le pourcentage volumique d'alcool

Des essais réalisés, il ressort que plus le degré alcoolique du vin est élevé plus la combustion se poursuit longtemps avec des hauteurs de flamme allant jusqu'à 40 cm. Il est à noter que, concernant le pourcentage volumique d'alcool à 12% Vol., l'inflammation des vapeurs d'alcool est difficile à observer. Le vin semble donc produire une combustion qui s'auto-entretient pour un degré d'alcool supérieur ou égal à 13% Vol. et en présence d'une source de chaleur constante (ce qui peut être le cas lors d'un incendie) ; ainsi les vapeurs d'alcool brûlent de façon continue. L'instrumentation du système expérimental à l'aide d'un thermocouple de type (MAD 3196) donne quelques indications concernant les températures à partir desquelles les vapeurs d'alcool s'enflamment. Celles-ci sont comprises entre 40° et 50°C selon le degré d'alcool. Ces résultats sont en accord avec la littérature (cf § : 2 sur la combustibilité du vin) et les mesures de points d'éclair faites par l'INERIS.

### 2.2.2 Essais normalisés

L'inflammabilité d'un liquide est réglementairement définie par la mesure du point d'éclair du liquide. La détermination du point d'éclair en coupe fermée a été réalisée conformément à la directive 96/54/CEE selon la norme NF EN ISO 13736 ("Méthode ABEL en vase clos").

L'échantillon est chauffé à une allure régulière et lente. A intervalles spécifiés de température, une petite flamme d'essai est présentée dans le vase. La température la plus basse à laquelle l'application de la flamme provoque l'inflammation des vapeurs émises à la surface du liquide est considérée comme le point d'éclair.

Lorsque la pression atmosphérique pendant un essai est différente de 760 mmHg, le point d'éclair est corrigé comme suit :

Point d'éclair corrigé =  $T_0 + 0,033(760-P)$  où

$T_0$  est le point d'éclair observé, en degrés Celsius (°C)

P est la pression barométrique, en millimètres de mercure (mmHg).

Le résultat ainsi corrigé est arrondi à 0,5°C près.

La détermination du point d'éclair a été réalisée sur deux échantillons de vin à des pourcentages volumiques d'alcool de 13 et 16% Vol. ainsi que pour deux vins commerciaux de degré 11% Vol. et 12% Vol.

Les résultats des différents essais effectués sur les différents échantillons sont répertoriés dans les tableaux ci-dessous :

<i>% Vol.</i>	<i>Point éclair expérimental</i>
<b>Vin à 11</b> (commercial)	48,5°C
<b>Vin à 12</b> (commercial)	46,0°C
<b>Vin à 13</b> (obtenu à partir du vin à 11)	44,3°C
<b>Vin à 16</b> (obtenu à partir du vin à 11)	42,0°C

Figure 2 : Détermination du point d'éclair des solutions alcooliques

Le point d'éclair diminue avec le pourcentage volumique d'alcool du vin. Ces résultats sont cohérents avec les données de la littérature relatives à un mélange d'eau et d'éthanol (paragraphe 2.1.2).

De plus en référence au classement des liquides selon leurs propriétés de combustibilité (cf. paragraphe 1), il en ressort que tous liquides dont le point d'éclair est compris entre 21° et 55°C est considéré comme une matière pouvant s'enflammer et se consumer rapidement.

### **Conclusion**

Au vu de ces résultats, le vin produit une combustion qui s'auto-entretient pour un degré d'alcool supérieur ou égal à 13% Vol.

Il a donc été clairement démontré qu'au-delà de 13% Vol. le vin peut être considéré comme une substance combustible et inflammable.

Concernant les résultats de point d'éclair, il semblerait que l'ensemble des degrés soient « combustibles », l'étude sur la combustibilité du vin sera traitée dans le paragraphe suivant.

### 3 ETUDE DE LA COMBUSTIBILITE DU VIN

Dans cette partie, sont décrits, dans un premier temps, le dispositif expérimental utilisé et, dans un second temps, les résultats concernant les essais réalisés sur la combustibilité du vin.

#### 3.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais se déroulent en milieu semi-confiné au sein de la galerie incendie dans la « chambre de 80 m<sup>3</sup> » de l'INERIS. La matière combustible repose sur une grille disposée au centre d'un bac de rétention destiné à recueillir les résidus de combustion. La quantité de matière « combustible » étudiée est de 4,5 ou 5L suivant la configuration, c'est à dire selon le type de conditionnement (bouteilles en verre, bouteilles plastiques, tétrapacks ou cubitainer). Il est à noter qu'une référence avec l'eau a été effectuée pour l'ensemble des conditionnements.

L'allumage de la matière « combustible » se fait par le biais d'un brûleur positionné sur un coté du dispositif avec un débit et une puissance constante tout au long de l'essai. La flamme sera maintenue en place pendant tout l'essai pour rester dans des conditions aussi proches que possibles de celles rencontrées lors d'un incendie. Il est important de noter toutefois que l'apport d'énergie est a priori plus faible que celle qui pourrait être observée lors d'un incendie réel (feu de cartons, de palettes).

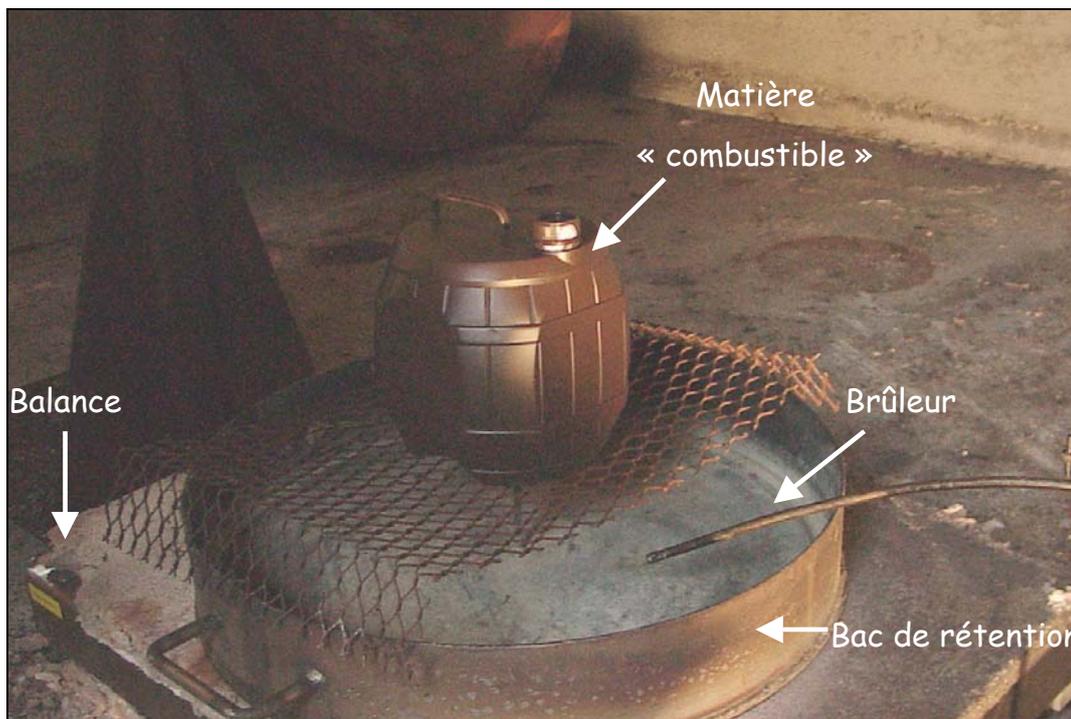


Figure 3 : Photographie du dispositif expérimental utilisé pour chaque essai

Une balance de précision de type « Mettler-Toledo KCC150S », possédant une plage de fonctionnement comprise entre 0 et 150 kg, est utilisée pour l'enregistrement de la perte de masse.

### 3.2 RESULTATS DES ESSAIS REALISES SUR LA COMBUSTIBILITE DU VIN

La démarche retenue comporte 4 étapes :

- Influence d'un liquide incombustible (l'eau),
- Influence du pourcentage volumique d'alcool sur la combustibilité du vin,
- Influence du type de conditionnement sur la combustibilité du vin,
- Etude de la combustibilité d'un vin de table « standard » à 12% Vol. conditionné dans des bouteilles en verre.

#### 3.2.1 Référence avec un produit incombustible : l'eau

Le vin a été remplacé par de l'eau afin de définir un comportement de référence pour un emballage donné avec un produit incombustible. Cette phase permet également de comparer le comportement des différents emballages.

L'évolution des courbes (Figure 4) met en évidence plusieurs phases détaillées et illustrées ci-dessous selon le type de conditionnement.

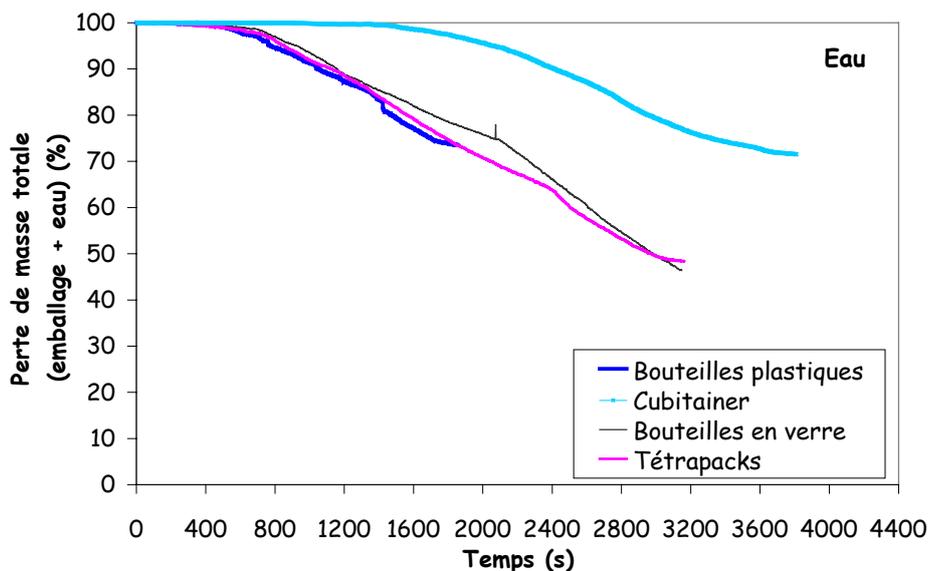


Figure 4 : Evolution de la perte de masse totale (emballage et eau) lors d'un essai au feu suivant 43 types de conditionnement

Il en ressort que l'eau est protégée au début du feu par son emballage :

- pendant 400s pour les bouteilles plastiques, les bouteilles en verre et les tétrapacks
- 1600s pour le cubitainer.

Par la suite, le polymère se ramollit, goutte et brûle sous l'effet de la chaleur. La perte de masse évolue de façon linéaire au cours du temps. Il est à noter que dans le cas des bouteilles plastiques ou du cubitainer, le bouchon peut servir d'exutoire. Concernant les bouteilles en verre, l'évolution de la perte de masse apparaît similaire à celle enregistrée pour les tétrapacks. Ces dernières éclatent sous l'effet de la chaleur au environ de 2400s.

Il est à noter que la masse initiale de l'emballage varie selon le type de conditionnement. Le Figure 5 présente la masse initiale des différents types d'emballages et les observations qualitatives des résidus.

Type d'emballage	Masse initiale de l'emballage (kg)	Observation des résidus après l'essais
<i>Bouteilles en verre</i>	1,900	
<i>Bouteilles plastiques</i>	0,160	
<i>Cubitainer</i>	0,208	
<i>Tétrapacks</i>	0,200	

Figure 5: Présentation des différents types d'emballages et observations qualitatives des résidus

Les photos extraites des enregistrements vidéos des essais au feu sur l'eau pour les 4 types de conditionnements sont présentés en annexe A.

Les photos extraites de la vidéo illustrent la perte de masse progressive au cours du temps (Annexe A).

En effet, l'eau est rejetée de façon continue. Dès qu'il n'y a plus d'eau au sein des bouteilles plastiques, celles-ci sous l'action de la chaleur se déforment, se rétractent, tombent, puis s'enflamment. L'arrêt du brûleur montre que la combustion du plastique peut se poursuivre pendant 2 minutes environ.

Concernant le cubitainer, l'eau est rejetée de façon continue, puis sous l'action de la chaleur ce dernier se déforme, se rétracte, puis s'enflamme. L'arrêt du brûleur montre que la combustion du plastique peut se poursuivre pendant 8 minutes environ. Cependant, il est à noter qu'au début de l'essai, le cubitainer semble plus résistant à la chaleur. Une fois enflammé, le polymère génère une chute de gouttes enflammées continue jusqu'à la disparition totale du cubitainer.

De la même façon, au-dessus du tétrapack, l'eau est rejetée de façon continue, puis sous l'action de la chaleur le tétrapack se déforme et s'ouvre au niveau de la jointure sur le côté aux environs de 2300s. Ainsi, l'emballage brûle en ne laissant intact que le film en aluminium recouvrant la paroi interne du tétrapack.

Après l'ouverture des bouteilles en verre (8 min environ), l'eau et les vapeurs d'eau sont rejetées. Au bout de 3000s, les bouteilles en verre éclatent.

### **Conclusion :**

Les observations de ces 4 essais sur l'eau en faisant varier uniquement le type de conditionnement (cubitainer, bouteilles plastiques, les bouteilles en verre ou tétrapacks) mettent en évidence la résistance de l'emballage dans le cas d'un liquide incombustible.

Ces essais serviront de référence pour la combustibilité du vin.

Ils permettent de mettre en évidence un comportement proche pour le verre, le plastique et le tétrapack et une résistance plus grande pour le cubitainer qui se traduit par une ouverture plus tardive de l'emballage.

### 3.2.2 Combustibilité du vin selon le degré d'alcool

Au vu des résultats précédents, une étude sur l'influence du pourcentage volumique d'alcool sur la combustibilité du vin a été réalisée. Le choix des pourcentages volumiques d'alcool a été effectué en s'appuyant sur les résultats des essais préliminaires. Les degrés sélectionnés sont :

- 11% Vol. et 12% Vol. (les deux pourcentages volumiques d'alcool les plus couramment commercialisés pour le vin),
- 13% Vol. (pourcentage volumique représentant a priori la limite de l'inflammabilité du vin),
- 16% Vol. (pourcentage volumique pour lequel le vin présente un caractère inflammable).

L'évolution des courbes met en évidence plusieurs phases détaillées et illustrées ci-dessous selon le pourcentage volumique dans le cas des bouteilles plastiques.

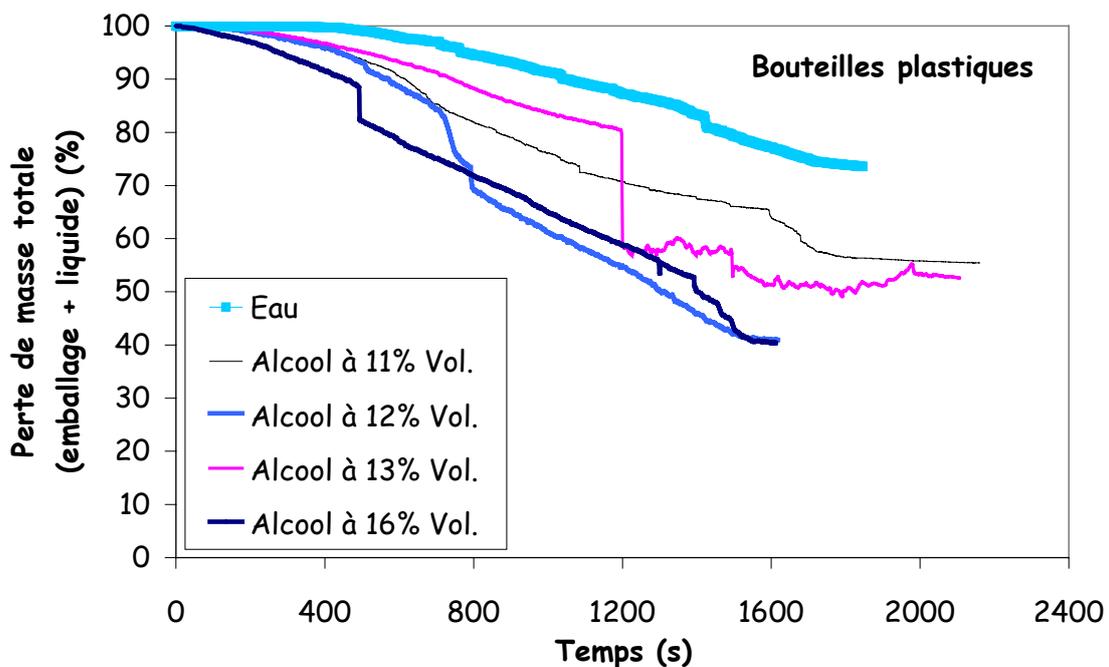


Figure 6 : Evolution de la perte de masse lors de la combustibilité du vin à différents pourcentages volumiques d'alcool dans des bouteilles plastiques en référence avec l'eau

Au vu des résultats de la perte de masse, il ressort que globalement plus le pourcentage volumique d'alcool est important, plus la perte de masse est rapide.

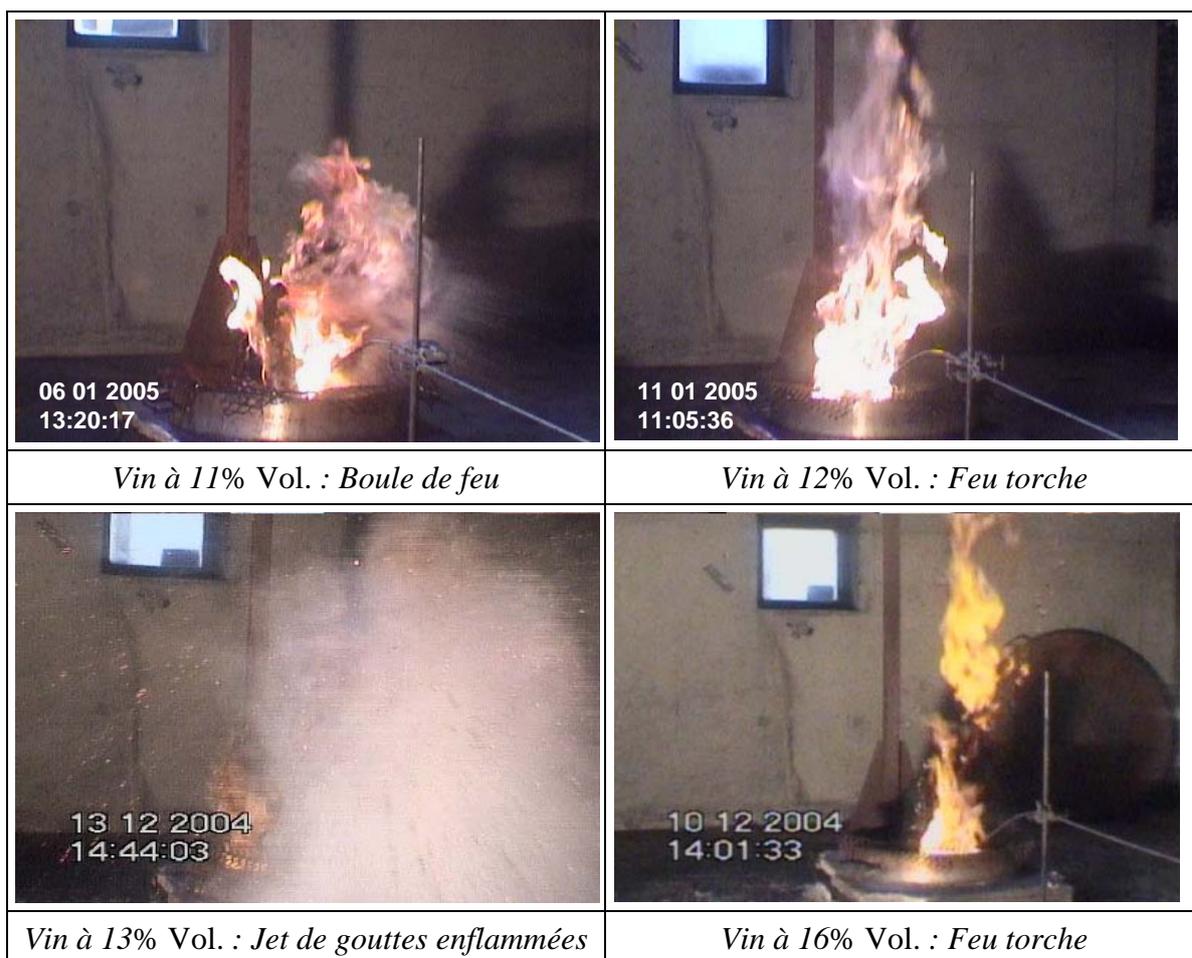
Le vin en bouteille plastique (Figure 6) présente, quel que soit le pourcentage volumique d'alcool, une rupture de pente située entre 500s et 1200s. Cette rupture correspond à l'ouverture de la bouteille au niveau du bouchon associé à l'inflammation des vapeurs d'alcool qui s'en dégagent. Comme dans le cas de l'eau, la principale fuite est liée à un point de rupture plus fragile au niveau du bouchon.

L'inflammation, quant à elle, est plus marquée pour un degré d'alcool à 16% Vol. avec la formation d'un feu torche pouvant atteindre 4 mètres de hauteur.

Concernant le vin à 13% Vol., l'inflammation s'effectue uniquement au niveau des gouttelettes qui s'éteignent en retombant. Néanmoins à 11% Vol. et 12% Vol., les vapeurs d'alcool s'enflamment et favorisent la formation de boules de feu ou de feux torche. La formation de boule de feu ou de feu torche dépend a priori de la pression d'ouverture de la bouteille et de la forme de la brèche.

Les photos extraites des enregistrements vidéos des essais au feu sur les bouteilles plastiques selon le pourcentage volumique d'alcool sont présentés en annexe B.

Les phénomènes les plus représentatifs pour l'ensemble des pourcentages volumiques d'alcool étudiés sont rassemblés ci-dessous :



*Figure 7 : Récapitulatif des phénomènes les plus représentatifs enregistrés pour l'ensemble des pourcentages volumiques d'alcool dans le vin*

### 3.2.3 Combustibilité du vin selon le type de conditionnement

Dans ce paragraphe, l'influence du type de conditionnement sur la combustibilité du vin à 13% Vol. est abordée.

Dans notre étude, les essais ont été réalisés sur des cubitainers en polystyrène, de bouteilles en verre, des tétrapacks en carton/aluminium et des bouteilles plastiques en polyéthylène téréphtalate pour un pourcentage volumique d'alcool égal à 13% Vol.

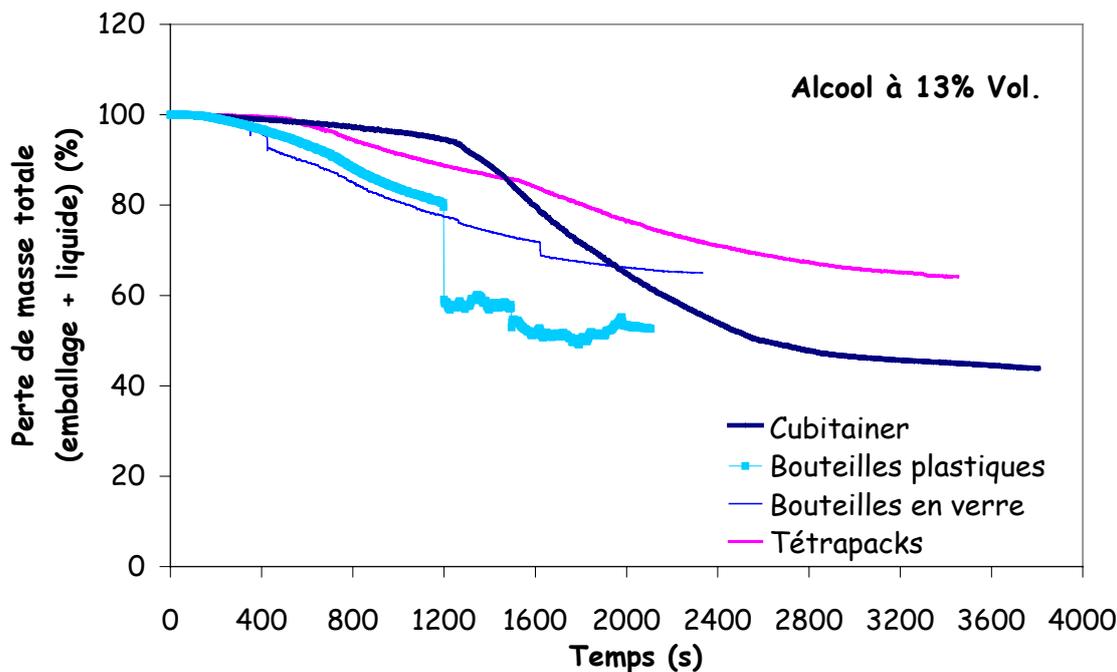


Figure 8 : Influence du type de conditionnement sur la combustibilité du vin à 13% Vol.

Type de conditionnement	Masse totale (kg)	Masse emballage (kg)	Masse finale (kg)
Bouteilles en verre	6,413	1,900	4,169
Bouteilles plastiques	4,651	0,160	2,446
Cubitainer	5,202	0,208	2,283
Tétrapacks	5,117	0,200	3,283

Tableau 7 : Evolution des masses en fonction du type de conditionnement

Il est important de noter qu'une partie non négligeable de liquide est rejeté en dehors du bac lors des essais.

De manière générale, les conditionnements à base de polymère (cubitainer et bouteilles plastiques) présentent une perte de masse finale quasiment identique. Le cubitainer brûle plus longtemps mais de façon plus continue. Les bouteilles en verre, quant à elles, présentent une évolution de la perte de masse linéaire mais ponctuée de phénomènes d'ouverture de bouteilles au niveau du bouchon. La perte de masse finale obtenue pour les bouteilles en verre semble similaire à celle des tétrapacks.

Les photos issues de la vidéo permettent de faire une comparaison du comportement au feu des bouteilles en verre par rapport aux bouteilles plastiques, au cubitainer et aux tétrapacks pour un vin à 13% Vol. (Figure 9).

Comme il a été vu précédemment avec l'eau, le cubitainer est plus stable thermiquement. La formation d'un « exutoire » en surface de celui-ci favorise la libération et la concentration des vapeurs d'alcool qui ont tendance à s'enflammer en formant alors des petites torchères.

Les bouteilles plastiques résistent moins à la chaleur, se déforment et tombent rapidement. Sous la pression, l'alcool se libère sous forme de gouttes enflammées.

Les bouteilles en verre semblent être le type de conditionnement le moins résistant à la chaleur. En effet, dès 400 s, les bouteilles en verre, sous l'action de la chaleur et de la pression, éclatent. Les vapeurs d'alcool se libèrent et s'enflamment. Aux environs de 1600 s, l'ensemble des bouteilles en verre sont ouvertes libérant des vapeurs d'alcool et rejetant le vin de façon continue. L'alcool s'enflamme, formant ainsi des feux torche. Un enchaînement successif de feux torche est observé (Annexe B) pendant toute la durée de l'essai.

### **Conclusion**

Quel que soit le conditionnement, le produit se comporte comme une substance combustible feu torche ou boule de feu pour un pourcentage volumique d'alcool de 13% Vol.

Il est à noter que sous la pression, les bouteilles en verre éclatent tandis que les bouteilles plastiques sont plus fragiles et s'ouvrent au niveau du bouchon.

Bouteilles plastiques	Cubitainer	Tétrapacks	Bouteilles en verre
 <p>13 12 2004 14:20:10</p>	 <p>13 12 2004 10:37:46</p>	 <p>07 01 2005 14:29:03</p>	 <p>06 01 2005 14:36:25</p>
<i>Temps d'allumage (<math>t_0</math>)</i>			
 <p>13 12 2004 14:44:03</p>	 <p>13 12 2004 11:03:07</p>	 <p>07 01 2005 14:48:48</p>	 <p>06 01 2005 14:38:40</p>
<i>Explosion et formation de gouttes enflammées</i>	<i>Inflammation des vapeurs d'alcool</i>		

Figure 9 : Comparaison de l'évolution du comportement au feu du vin à 13% Vol. selon le type de conditionnement

### 3.2.4 Etude de la combustion d'un vin à 12% Vol. conditionné dans des bouteilles en verre

Cette partie présente les résultats concernant le caractère combustible d'un vin de table à 12% Vol. (12% Vol. étant le pourcentage volumique d'alcool le plus couramment commercialisé) conditionné dans des bouteilles en verre.

L'évolution de la perte de masse du vin à 12% Vol. en référence avec l'eau est illustrée ci-dessous dans le cas de bouteilles en verre.

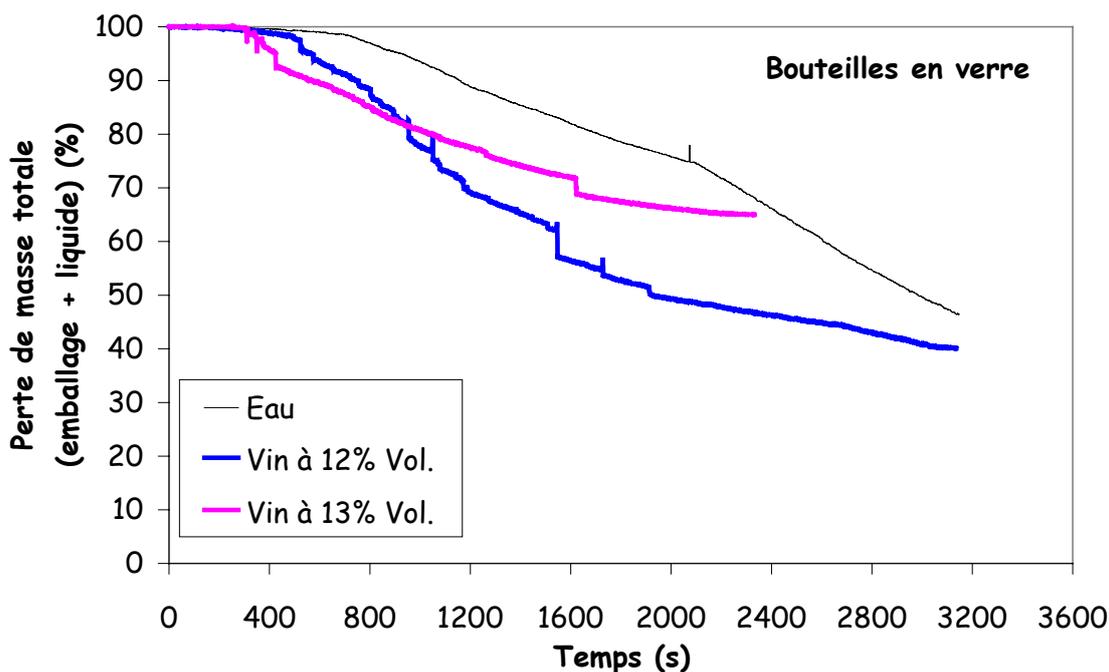


Figure 10 : Evolution de la perte de masse lors de la combustibilité du vin à 12% Vol. dans des bouteilles en verre en référence avec l'eau

Au vu des résultats, il ressort que dès l'ouverture des bouteilles (400s), la perte de masse est très rapide en présence du vin. L'enregistrement d'environ quatre ruptures de pente sur la courbe de perte de masse pour le vin à 12% Vol. correspond à l'inflammation successive des vapeurs d'alcool formant des feux torche.

Il est important de noter que les différences de comportement sont liées à la variation du protocole expérimental. En effet, les bouteilles en verre contenant de l'eau ou du vin à 13% Vol. ont été ouvertes puis rebouchées, tandis que celles à 12% Vol. n'ont jamais été ouvertes afin d'être le plus représentatif possible de la réalité.

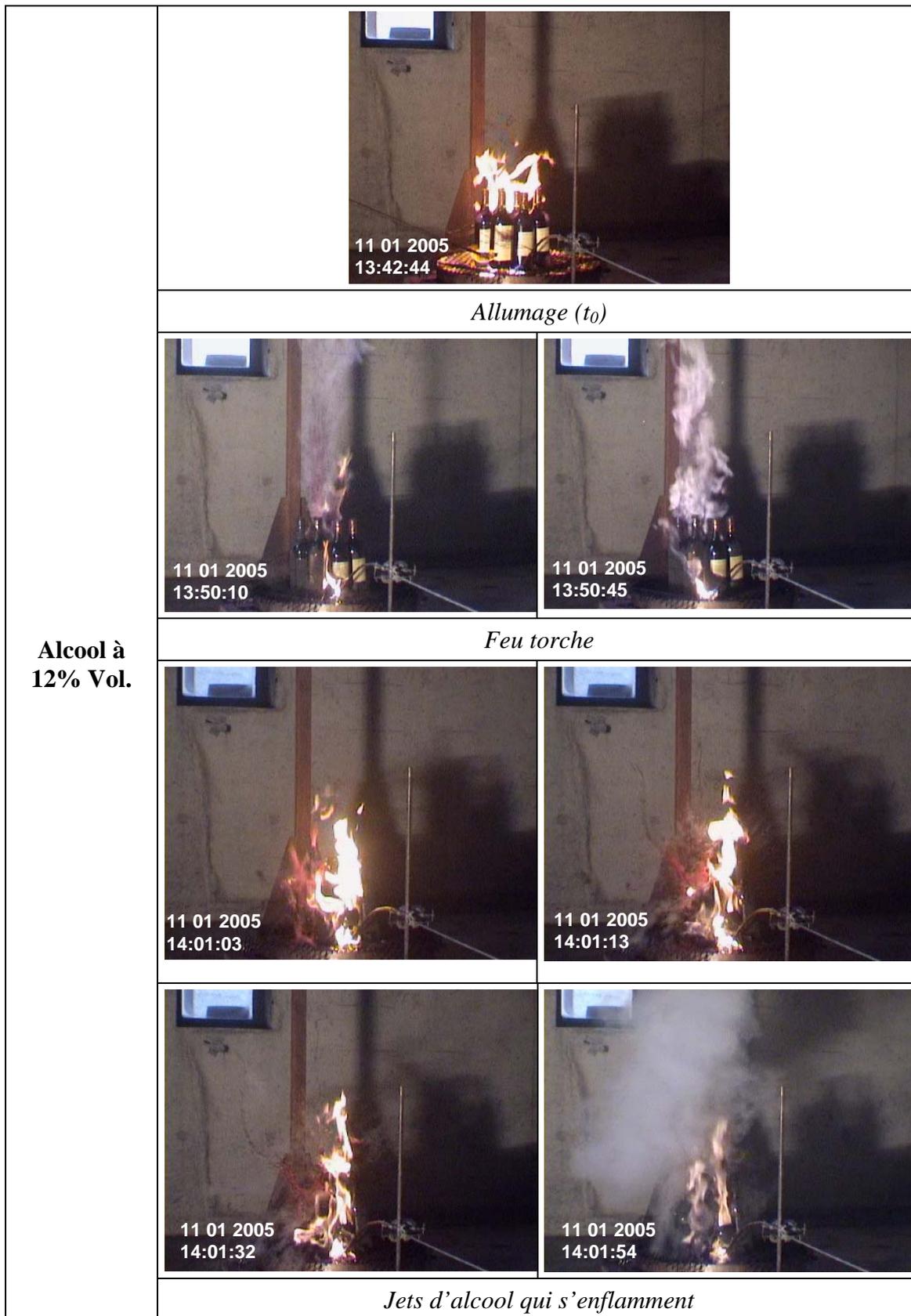


Figure 11 : Différentes étapes observées lors de la combustion du vin à 12% Vol. dans des bouteilles en verre

## 4 CONCLUSION

---

Pour établir si le vin devait être qualifié de combustible, il a fallu procéder en plusieurs étapes :

- la première étape basée sur les propriétés intrinsèque du produit (point d'éclair et combustion auto-entretenu) a permis d'établir que le vin est combustible pour un degré supérieur ou égal à 13% Vol.,
- la deuxième étape a consisté à étudier le comportement du vin et de son conditionnement en cas d'incendie et à le comparer à celui observé avec un liquide incombustible de référence : l'eau. Les essais réalisés avec du vin à 11% Vol. ou à 12% Vol. ont montré dans tous les cas un comportement différent de celui de l'eau avec en particulier la présence de feux torche ou de boules de feu.

Au final, du point de vue de l'INERIS, le vin est un produit combustible.

## **5 ANNEXES**

---

### **ANNEXE A**

• Essais au feu sur les bouteilles plastiques contenant de l'eau

<b>Bouteilles plastiques</b>		
	<i>Allumage (t<sub>0</sub>)</i>	<i>Fuite d'eau au niveau du bouchon</i>
		
	<i>Jet de vapeur par le bouchon</i>	<i>Chute des bouteilles déformées</i>
		
<i>Combustion des bouteilles</i>		

Figure 12 : Différentes phases observées lors de la combustion des bouteilles plastiques contenant de l'eau

- Essais au feu sur le cubitainer contenant de l'eau

<b>Cubitainer</b>		
	<i>Allumage (t<sub>0</sub>)</i>	<i>Fuite d'eau sous le cubitainer</i>
		
	<i>Fuite d'eau au niveau du bouchon et déformation du cubitainer</i>	<i>Combustion du plastique</i>

Figure 13 : Différentes phases observées lors de la combustion du cubitainer contenant de l'eau.

- Essais au feu sur les tétrapacks contenant de l'eau

		
	<i>Temps d'allumage (<math>t_0</math>)</i>	<i>Temps 1<sup>ère</sup> phase (s)</i>
<b>Tétrapacks</b>		
	<i>Temps 2<sup>ème</sup> phase (s)</i>	<i>Temps 3<sup>ème</sup> phase (s)</i>

Figure 14 : Différentes phases observées lors de la combustion des tétrapacks contenant de l'eau

- Essais au feu sur les bouteilles en verre contenant de l'eau

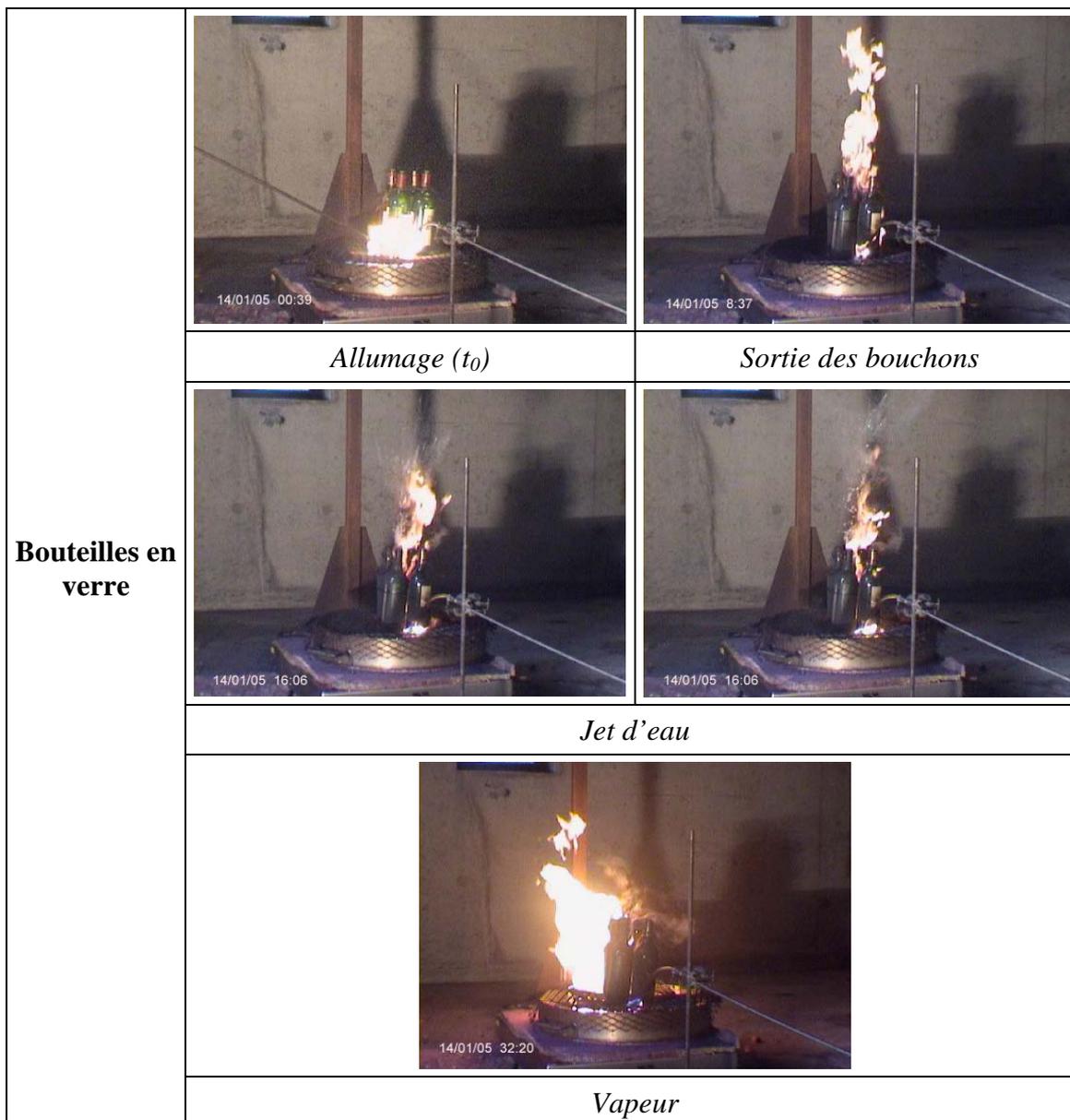


Figure 15 : Différentes phases observées lors de la combustion des bouteilles en verre contenant de l'eau

## **ANNEXE B**

- Essais au feu sur les bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 11% Vol.

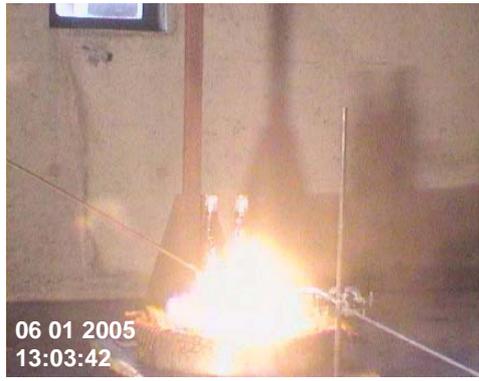
<b>Alcool à 11% Vol.</b>		
	<i>Allumage (<math>t_0</math>)</i>	<i>Jet d'alcool au niveau du bouchon</i>
		
	<i>Vapeurs d'alcool qui commencent à s'enflammer</i>	<i>Inflammation des vapeurs</i>
		
	<i>Boule de feu</i>	<i>Inflammation des vapeurs d'alcool</i>

Figure 16 : Différentes phases observées lors de la combustion des bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 11% Vol.

- Essais au feu sur les bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 12% Vol.

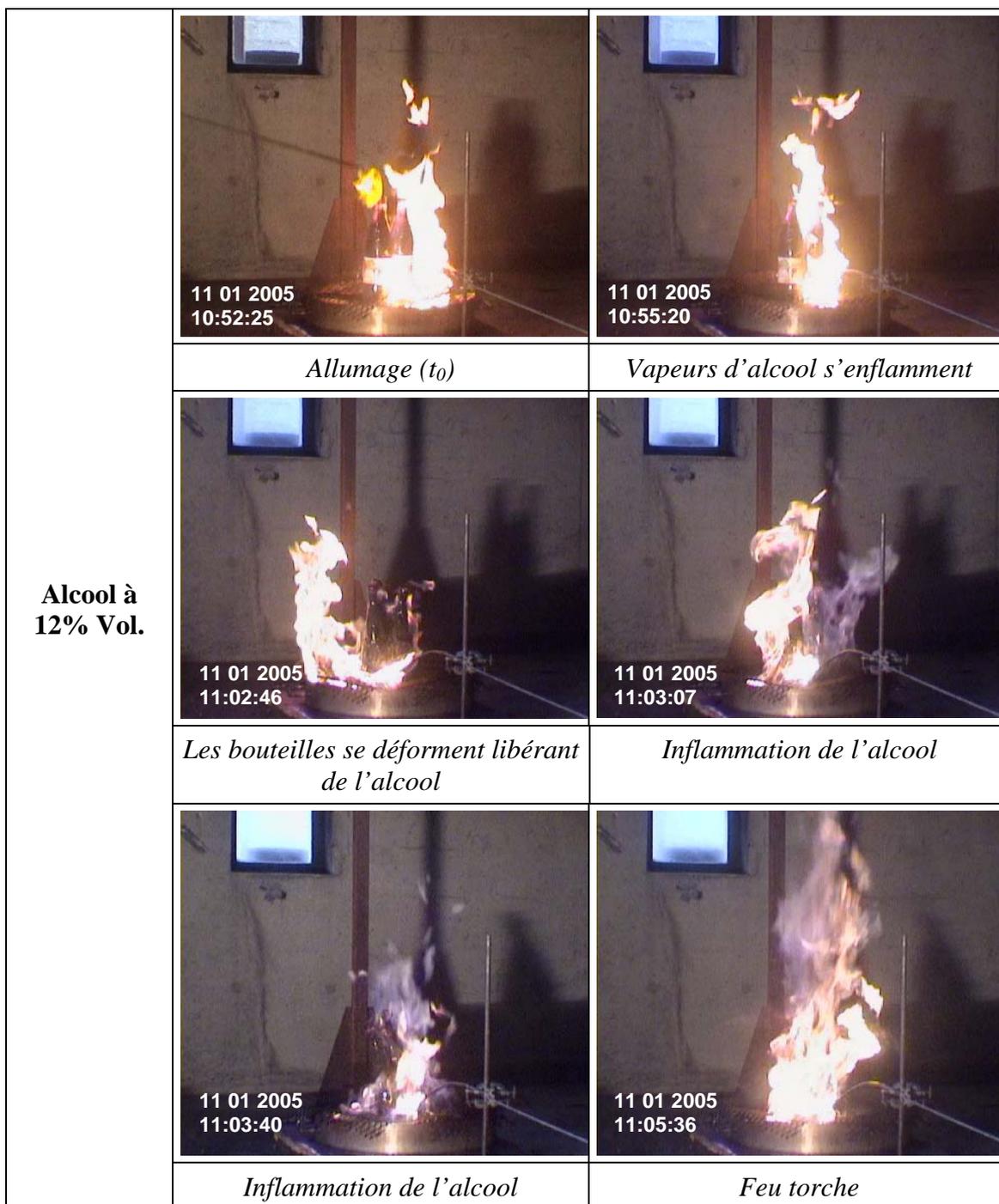


Figure 17 : Différentes phases observées lors de la combustion des bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 12% Vol.

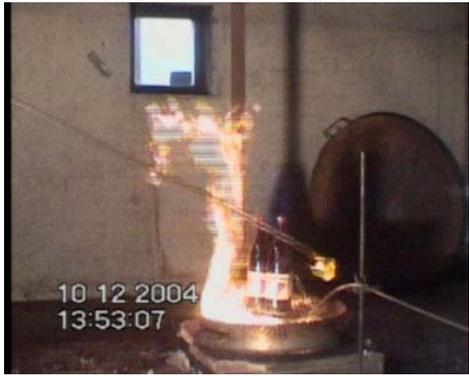
- Essais au feu sur les bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 13% Vol.

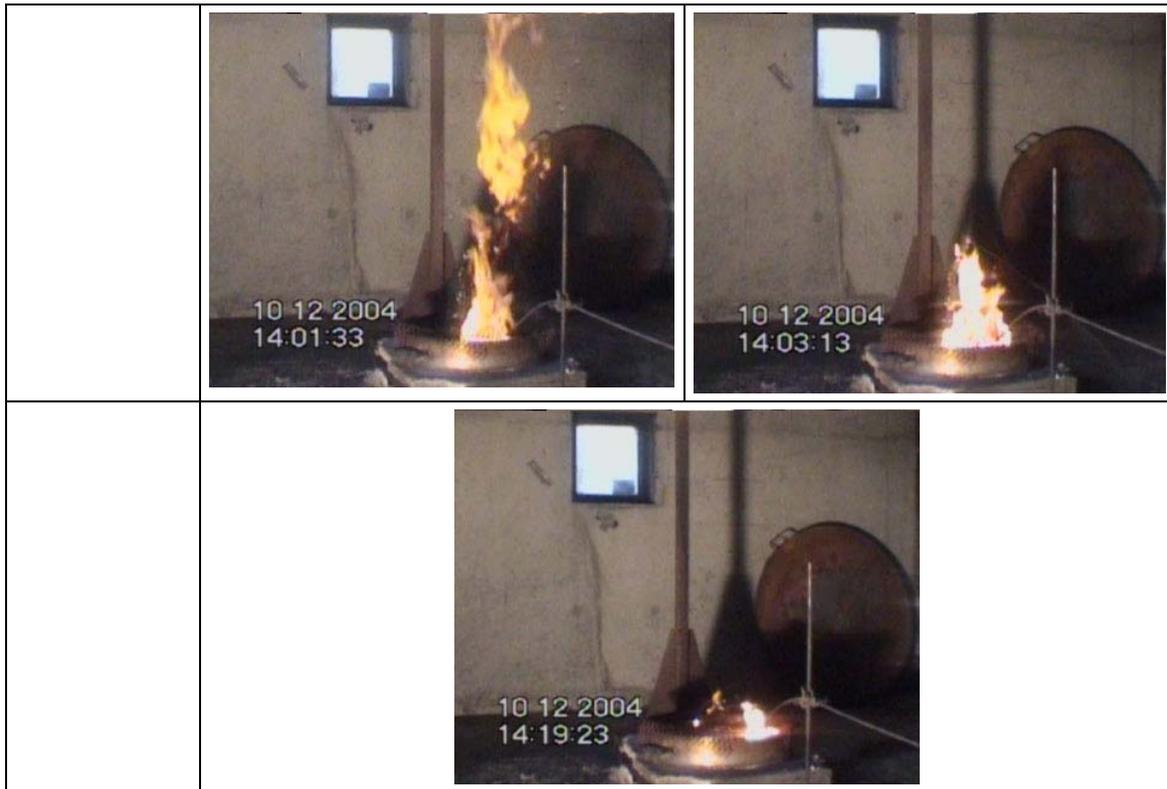
<p><b>Alcool à 13% Vol.</b></p>		
	<p><i>Allumage (t<sub>0</sub>)</i></p>	<p><i>Vapeur d'alcool au niveau du bouchon</i></p>
		
	<p><i>Chute des bouteilles associée à un dégagement d'alcool au niveau du bouchon</i></p>	
		



*Figure 18 : Différentes phases observées lors de la combustion des bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 13% Vol.*

- Essais au feu sur les bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 16% Vol.

<p><b>Alcool</b> à <b>16% Vol.</b></p>		
	<i>Allumage (t<sub>0</sub>)</i>	<i>Inflammation</i>
		
	<i>Dégagement d'alcool au niveau du bouchon, feu torche</i>	
		
	<i>Feu torche</i>	



*Figure 19 : Différentes phases observées lors de la combustion des bouteilles plastiques contenant de l'alcool à 16% Vol.*

**Bouteilles en verre à 13% Vol.**



*Allumage ( $t_0$ )*



*Départ des bouchons, libération d'alcool et feu torche*

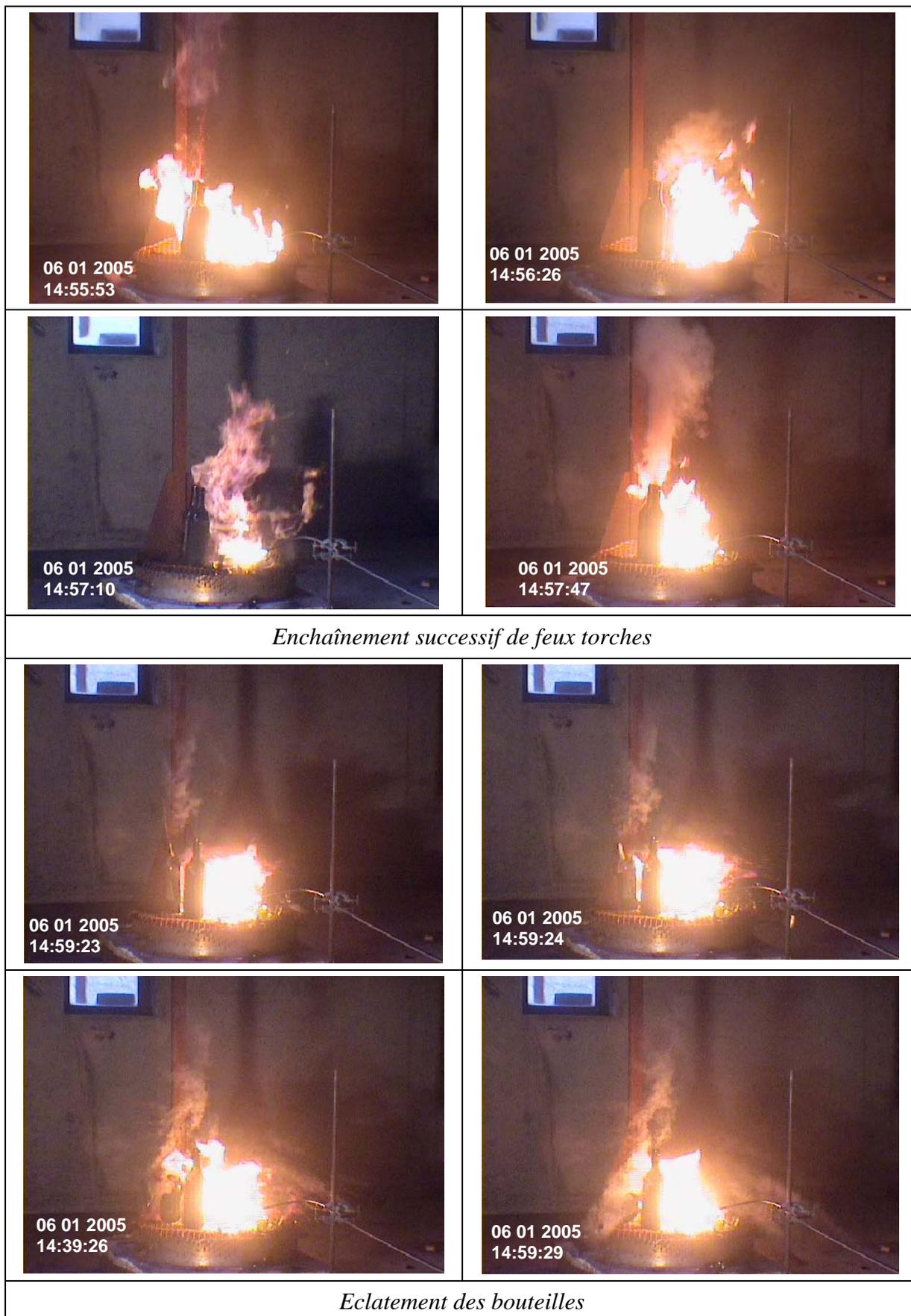


Figure 20 : Différentes phases observées lors de la combustion des bouteilles en verre contenant de l'alcool à 13% Vol.