

FORMATION ACO 112

EXPLOSIMETRIE

l'école de tous les acteurs de la
sécurité civile

www.ensosp.fr

 @ENSOSP

 Ensosp



OBJECTIFS

- Connaître la théorie fondamentale dans le domaine de l'explosion,
- Mettre en œuvre les actions et réactions face à une intervention gaz,
- Adapter son comportement en fonction de l'environnement et en toute sécurité.

Avant de commencer

QUELQUES RAPPELS SUR LA COMBUSTION

Chapitre 1

Définition de la combustion

C'est une réaction chimique exothermique qui résulte de la combinaison de 2 corps : le combustible et le comburant.

Le combustible est un corps qui a la propriété de brûler. On en trouve 3 types :

- solides : bois, caoutchouc, soufre...
- liquides : alcools, huile, pétrole...
- gazeux : gaz de ville, acétylène...

Le comburant est un corps qui va permettre la combustion et l'accélérer.

La source de chaleur apportée à ces 2 éléments va permettre de faire brûler.

Chapitre 2

Quelques définitions

- **Concentration stœchiométrique** : concentration qui correspond à la réaction chimique complète et qui donne la température la plus élevée.
- **Point éclair** : température minimale à laquelle un liquide émet suffisamment de vapeurs inflammables qui, en présence d'une flamme pilote, s'enflamment spontanément.
- **Point d'ignition (ou inflammation)** : température minimale à laquelle un mélange combustible gaz/air s'enflamme en présence d'une énergie d'activation, avec persistance de cette dernière. Ce point varie en fonction de la pression du mélange gazeux.
- **Point d'auto-ignition/auto-inflammation** : température à laquelle un mélange combustible gazeux peut s'enflammer spontanément sans présence d'une énergie d'activation (de l'ordre de 150° à 650°C).

Exemple

Combustibles

Point d'auto-
inflammation



Point de flamme



Point éclair

Benzène

Ether

Méthanol

560°C

160°C

460°C

Température légèrement supérieure au point éclair

-11°C

-45°C

11°C

Facteurs affectant la vitesse de combustion

- **Etat de division de la matière** : la combustion est fonction du rapport surface/volume du combustible.
- **Disposition de la matière et des matériaux** : la vitesse de propagation dépend de facteurs géométriques, mais aussi de la disposition dans l'espace et par rapport à d'autres éléments.
- **La température** : la vitesse des réactions d'oxydation est approximativement doublée pour chaque élévation de 10°C.
- **Autres facteurs** : humidité, teneur en oxygène ...

Nous pouvons commencer

EXPLIQUONS L'EXPLOSIMETRIE



Vérifions nos connaissances

- Quels sont le ou les explosimètres en service dans mon département ?
- Comment fonctionnent-ils ?
- Quel est le gaz étalon de l'appareil ?
- Existe-t-il des abaques ? L'appareil possède-t-il des facteurs correctifs intégrés
- A combien sont définies le (ou les) alarmes ?
- Y a-t-il une procédure opérationnelle départementale ?



Introduction

DIFFERENTS TYPES D'EXPLOSION

- Les atmosphères explosives
- Les matières explosives
- Les éclatements de réservoirs
- Les BLEVE



Définition

1 - Explosion

Combustion qui a un développement extrêmement rapide.

Les effets de l'explosion sont :

- l'effet de souffle,
- l'onde de choc,
- le dégagement de chaleur,
- le front de flamme,
- les effets missiles,



Explosibilité ou explosivité ?

LES ATMOSPHERES EXPLOSIBLES

L'explosion intéresse dans ce cas un mélange air + combustible :

- **Mélange air + gaz inflammable : hydrogène, ammoniac, butane, propane, méthane, CO etc**
- **Mélange air + vapeurs de liquides inflammables : alcools, solvants, carburants**
- **Mélange air + poussières de solide inflammable : sucre, amidons, céréales, sciures etc**



Explosibilité ou explosivité ?

LES ATMOSPHERES EXPLOSIBLES

**comportent donc un mélange inflammable mais sans
précision sur les concentrations;
le risque d'explosion est potentiel.**



Explosibilité ou explosivité ?

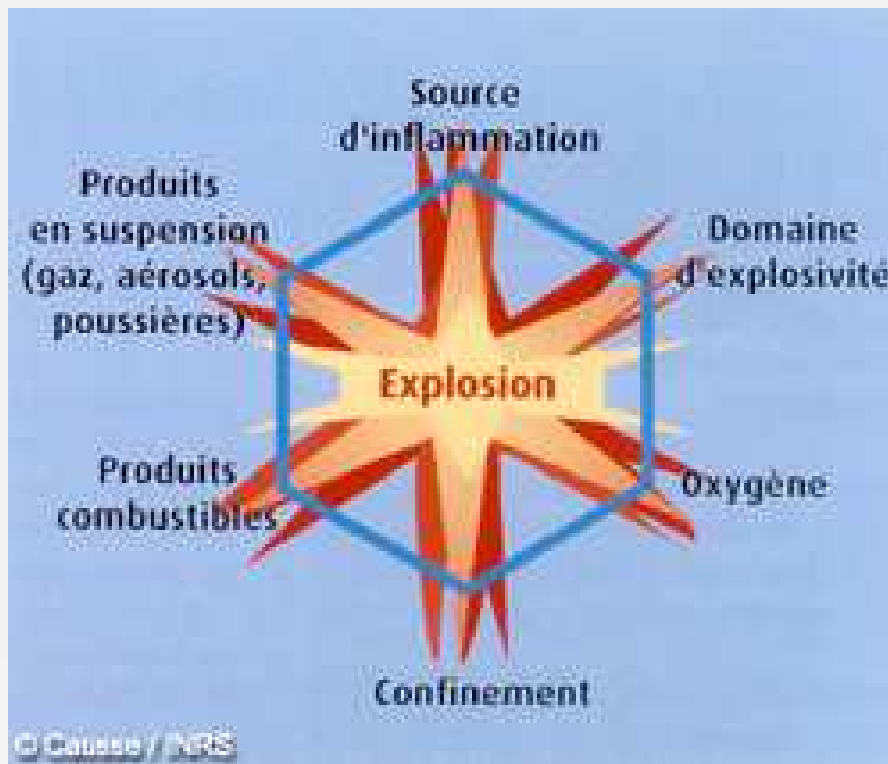
LES ATMOSPHERES EXPLOSIVES :

L'inflammation d'une atmosphère explosive n'est possible que si les deux conditions suivantes sont réunies simultanément :

- les gaz, les vapeurs, les brouillards ou les poussières combustibles sont mélangés à de l'air ou à un gaz comburant en proportion, telle qu'un apport d'énergie peut provoquer une inflammation,
- un apport d'énergie suffisamment important est fourni au mélange pour amorcer la réaction de combustion.

FORMATION DES ATMOSPHERES EXPLOSIVES

Six conditions à réunir simultanément pour que l'explosion ait lieu :



1. Présence d'un comburant,
2. Présence d'un combustible,
3. Présence d'une source d'inflammation,
4. Etat particulier du combustible (qui doit être sous forme gazeuse, d'aérosol ou de poussières en suspension),
5. Obtention d'un domaine d'explosivité,
6. Confinement suffisant.

L'explosion d'un mélange gazeux peut prendre deux formes :

- **La déflagration** caractérisée par une vitesse de propagation de l'onde de choc subsonique avec une surpression engendrée de l'ordre de 4 à 10 bars
- **La détonation** caractérisée par une vitesse de propagation de l'onde de choc supersonique avec une surpression engendrée de l'ordre de 20 à 30 bars.

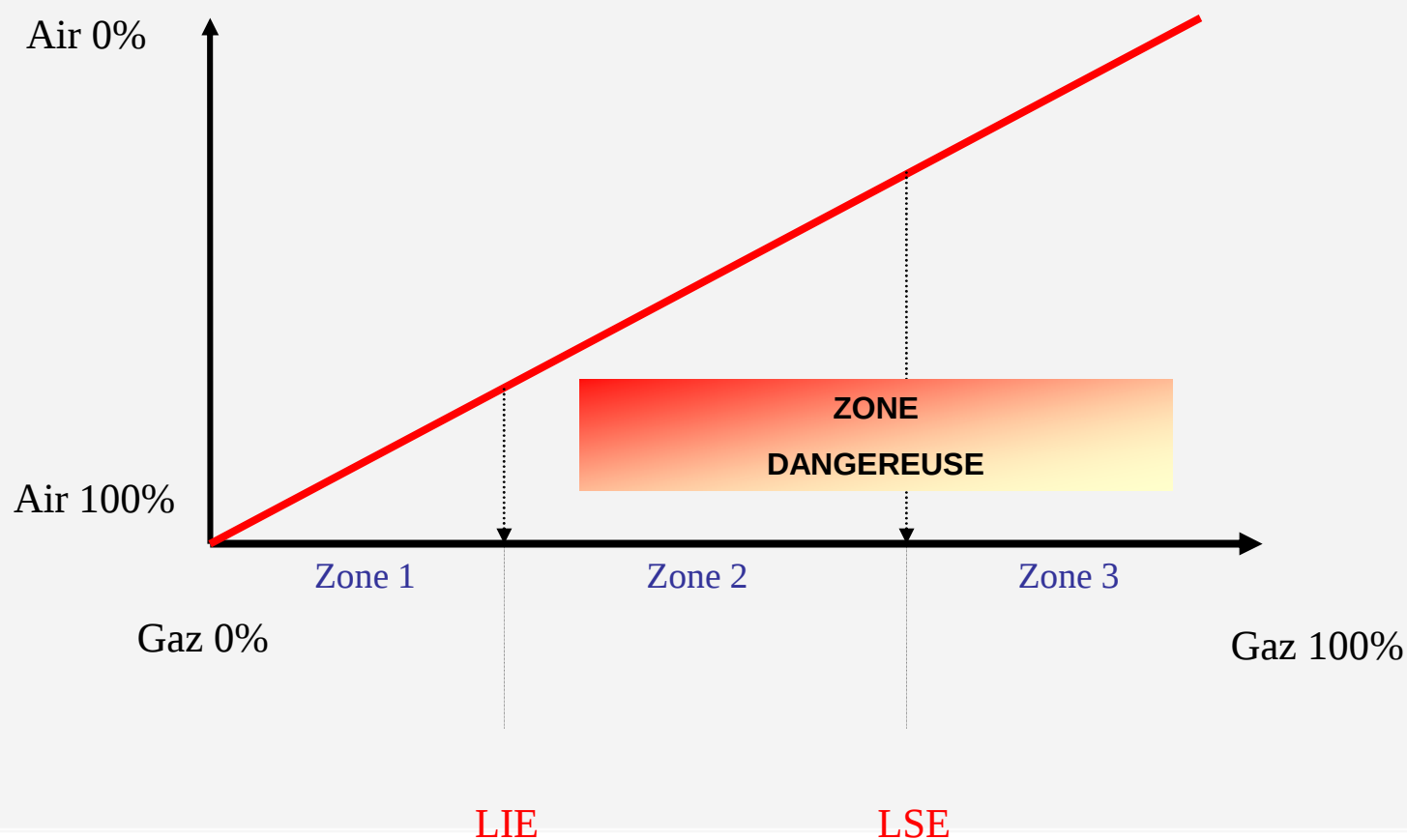


1 - Définitions

- **Limite inférieure d'explosivité:** limite en dessous de laquelle la concentration de gaz dans l'air, est trop faible pour qu'il y ait une réaction du mélange en présence d'une énergie d'activation.
- **Limite supérieure d'explosivité:** limite au dessus de laquelle la concentration de gaz dans l'air, est trop importante pour qu'il y ait une réaction du mélange en présence d'une énergie d'activation.

La différence entre limite inférieure/supérieure d'explosivité et limite inférieure/supérieure d'inflammabilité étant infime, on considère, à notre niveau, que ces deux paramètres sont identiques.

2 - Diagramme



- Zone 1: Teneur en gaz insuffisante pour être dangereuse. Atmosphère explosible.
- Zone 2: **Mélange explosible ou inflammable. Atmosphère explosive.**
- Zone 3: Plus assez d'oxygène pour permettre une combustion du gaz. Atmosphère explosible.



QUELQUES EXEMPLES

	L.I.E. (%)	L.S.E. (%)
GAZ NATUREL	5	15
BUTANE	1,5	8,5
PROPANE	2,2	9,5
ESSENCE	1,5	7,5
AMMONIAC	16	25
CO	12	74
ACETYLENE	1,5	80
GASOIL	6	13,5
HYDROGENE	4	76

ANALYSE DU RISQUE

Un gaz ou un liquide inflammable sera d'autant plus dangereux que :

- son domaine d'explosivité est large
- sa L.I.E. est basse
- son énergie minimale d'inflammation est faible

Il faut avoir à l'esprit qu'en cas de mélange toxique, *les méfaits de la toxicité se manifesteront avant les dangers d'explosion.*

La concentration du gaz toxique se mesure en ppm (Partie par million) et suggère des analyses relevant d'autres techniques avec des appareils spécialisés.

1ppm = 0.0001%

1 % = 10 000 ppm

Le seuil de toxicité de certains produits est de l'ordre de quelques partie par million.



1 - L'explosimètre

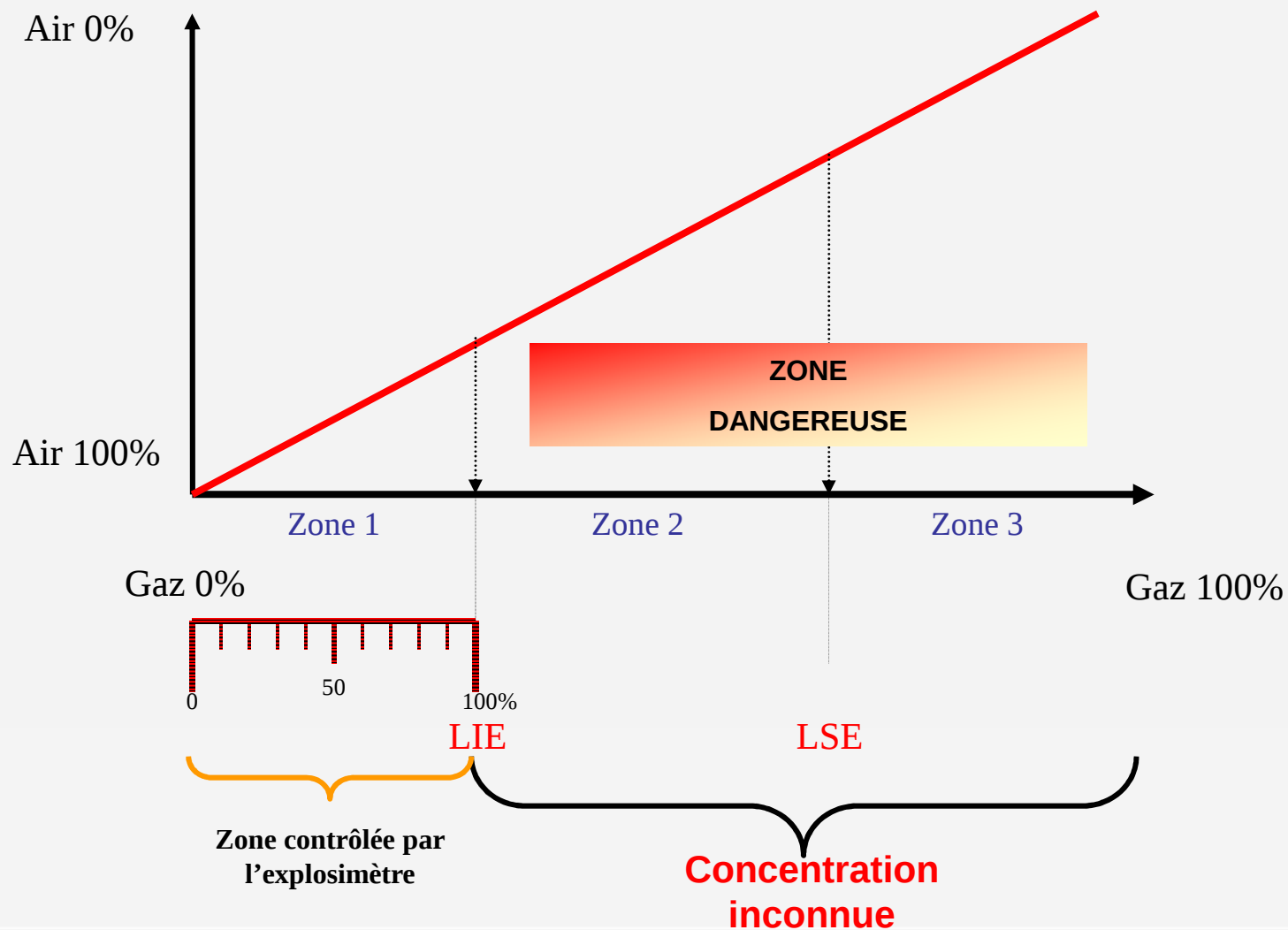
a) Définition

L'explosimètre est un appareil portatif, utilisé par les sapeurs-pompiers pour détecter la présence d'un gaz ou de vapeurs combustibles dans l'air, et ce, avant que le mélange ne devienne explosif.

Il permet de déterminer le taux de concentration d'un gaz, entre 0 et 100% de sa LIE, dans le volume analysé, et de déclencher des alarmes, sonores et visuelles, lorsque les teneurs, prédéterminées, sont atteintes.

Cet appareil ne doit, en aucun cas, être confondu avec le toximètre, déterminant un taux de nocivité ou de toxicité relatif à certains produits gazeux.

Mesure de l'explosimètre



Étalonnage de l'explosimètre

Les explosimètres sont réglés pour un mélange de base, constitué d'air et d'un gaz déterminé. Ces appareils sont donc étalonnés.

Chaque explosimètre possède un gaz étalon. Il est donc possible que deux appareils soient tarés différemment.

De surcroît, les valeurs indiquées, relatent une concentration entre 0 et 100% de la LIE du gaz étalon.

Afin d'utiliser correctement ces appareils, les constructeurs, à l'issue d'une multitude de tests, ont élaboré une liste de facteurs correctifs correspondants chacun à un gaz.

Cette liste doit accompagner en permanence l'explosimètre auquel elle se rapporte.

Exploitation des lectures

Afin d'exploiter correctement les indications fournies par l'explosimètre, il est indispensable de connaître :

- *le gaz étalon,*
- *le gaz recherché,*
- *le facteur correctif correspondant à ce gaz.*

2 - Le catharomètre

a) Définition

Utilisé par les services du Gaz de France, le catharomètre est un appareil portatif permettant de connaître une concentration de gaz dans un volume d'air.

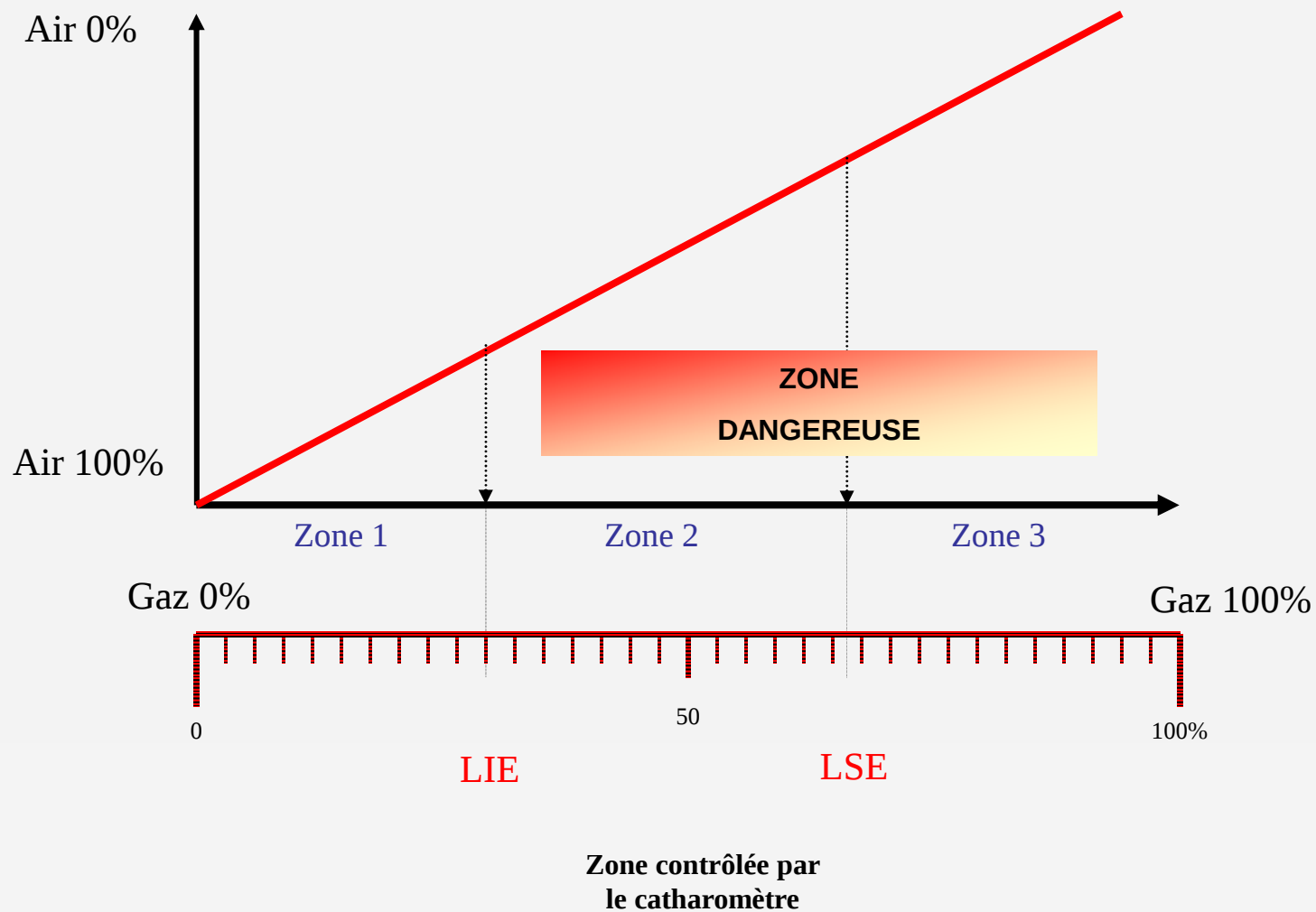
Contrairement à l'explosimètre, il indique le pourcentage du gaz recherché entre 0 et 100% du volume total analysé.

b) Zone d'analyse du catharomètre

2 - Le catharomètre



Mesure du catharomètre



GAZ ETALONS

CATHAROMETRE

Gaz étalon : le méthane CH_4

EXPLOSIMETRES

Usine : le pentane C_5H_{12}

Autres : l'hexane C_6H_{14} , méthane CH_4

UTILISATION DES FACTEURS CORRECTIFS

ABAQUES

Trois solutions se présentent concernant la lecture d'un explosimètre (dont le gaz étalon est par exemple le pentane) :

➤ Le gaz mesuré est du pentane => lecture directe

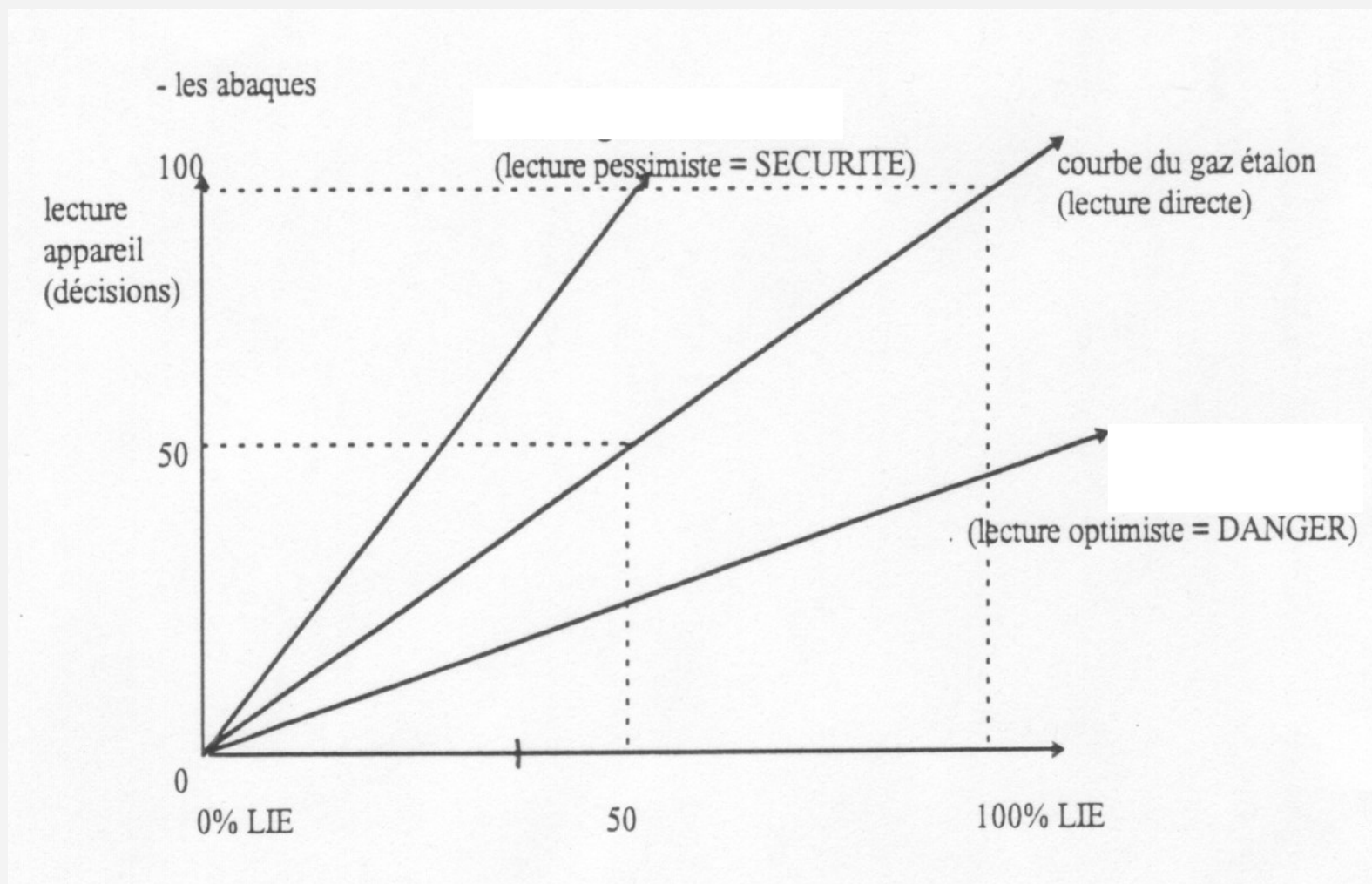
➤ Le gaz mesuré est connu sans être du pentane => conversion au moyen des abaques

MESURES

➤ Le gaz mesuré est inconnu => conversion abaque avec le cas le plus défavorable

EVALUATION
DU RISQUE

LECTURE DES ABAQUES



LECTURE DES ABAQUES

TABEAU DE CONVERSION
EXPLOSIMETRIE - 0 à 100 % de la LIE

ETALONNAGE AU PENTANE

LECTURE APPAREIL %	LIE/LSE	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
ACETONE	2,4/12,8	9	13,5	18	22,5	27	31,5	36	40,5	45	49,5	54	58,5	63	67,5	72	76,5	81	85,5	90
ACETYLENE	2,5/100	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
ALCOOL ETHYLIQUE	3,3/19	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
ALCOOL METHYLIQUE	6,7/36	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50
ALCOOL N-AMYLIQUE	1,2/10	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140
ALCOOL N-BUTYLIQUE	1,4/11,2	13	19,5	26	32,5	39	45,5	52	58,5	65	71,5	78	84,5	91	97,5	104	111	117	124	130
AMMONIAC	16/25	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5	24	25,5	27	28,5	30
BENZENE	1,3/7,1	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
CYANOGEN	6,6/32	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50
CYCLOHEXANE	1,3/8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
CYCLOPROPANE	2,4/10,4	7	10,5	14	17,5	21	24,5	28	31,5	35	38,5	42	45,5	49	52,5	56	59,5	63	66,5	70
ETHANE	3/12,5	7	10,5	14	17,5	21	24,5	28	31,5	35	38,5	42	45,5	49	52,5	56	59,5	63	66,5	70
ETHER ETHYLIQUE	1,9/36	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
ETHYLENE	3/12,5	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
ISO-BUTANE	1,8/8,4	9	13,5	18	22,5	27	31,5	36	40,5	45	49,5	54	58,5	63	67,5	72	76,5	81	85,5	90
ISO-PENTANE	1,4/7,6	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80
METHANE	5/15	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5	40	42,5	45	47,5	50
MONOXYDE DE CARBONE	12,5/74	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
N-BUTANE	1,9/8,5	7	10,5	14	17,5	21	24,5	28	31,5	35	38,5	42	45,5	49	52,5	56	59,5	63	66,5	70
N-DECANE	0,8/5,4	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140
N-HEPTANE	1,05/6,7	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120
N-HEXANE	1,1/7,5	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120
N-NONANE	0,8/2,9	15	22,5	30	37,5	45	52,5	60	67,5	75	82,5	90	97,5	105	113	120	128	135	143	150
N-OCTANE	1/6,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
N-PENTANE	1,5/7,8	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
PROPANE	2,2/9,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
TOLUENE	1,2/7,1	11	16,5	22	27,5	33	38,5	44	49,5	55	60,5	66	71,5	77	82,5	88	93,5	99	105	110

Lecture pessimiste = sans de la sécurité

Lecture optimiste = Danger

cmrsmr.xls

CENTRE DE SECOURS PRINCIPAL DE VALENCIENNES

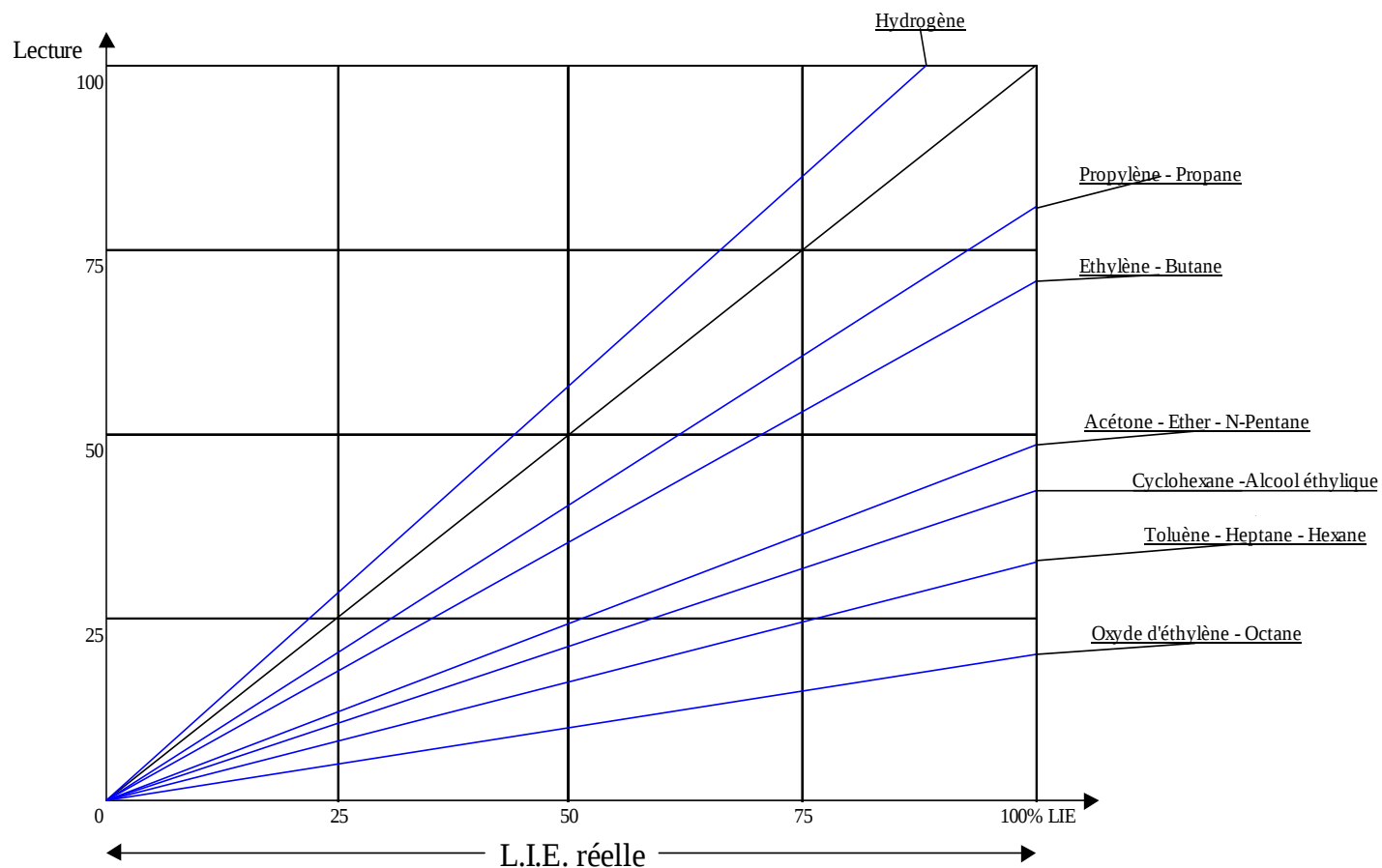
1997

ABAQUE TYPE TABLEAU DE CONVERSION

(Gaz étalon : Pentane)

EXPLOSIMETRIE

Réponse d'un explosimètre (Méthane) pour différents types de gaz



Caractéristiques de quelques gaz

Produits	Synonymes	Formules	Explosivité % en volume dans l'air		TA°C	PE°C	d	Toxicité valeurs		
			L.I.E.	L.S.E.				USA		ex- URSS
								ppm	mg/m³	mg/m³
Acétaldéhyde	Aldéhyde acétique	C ₂ H ₄ O	4	60	175	-38	1,5	100	180	5
Acétone			2,6	12,8	465	-18	2	1000	2400	200
Acétylène	Ethyne	C ₂ H ₂	2,5	80	305	Gaz	0,9			
Acide cyanhydrique	Acide prusside	HCN	5,6	40	538	-18	0,9	10	10	0,3
Alcool allylique	Propénol 3		2,5	18	378	21	2	2	5	2
Alcool éthylique	Ethanol	C ₂ H ₆ O	3,3	19	365	13	1,6	1000	1900	1000
Alcool méthylique	Méthanol	CH ₄ O	6,7	36	385	11	1,1	200	260	5
Ammoniac		NH ₃	16	25	651	Gaz	0,6	25	18	20
Aziridine	Ethylène-imine	C ₂ H ₅ N	3,6	46	320	-11	1,7			
Butane		C ₄ H ₁₀	1,9	8,5	405	Gaz	2	600	1430	
Chlorure de vinyle	V.C.M.	C ₂ H ₄ Cl	3,6	33	470	Gaz	2,1	5	10	0,1
1,1 Diméthylhydrazine		C ₂ H ₈ N ₂	2	95	249	-15	>1	0,5	1	

Caractéristiques de quelques gaz

Produits	Synonymes	Formules	Explosivité % en volume dans l'air		TA°C	PE°C	d	Toxicité valeurs		
			L.I.E.	L.S.E.				USA		ex-URSS
								ppm	mg/m³	mg/m³
Essence régular			1,6	6	280	-45	>3	300	900	100
Essence 73 octane			1,6	6	299	-45	>3	300	900	100
Essence 92 octane			1,6	6	390	-45	>3	300	900	100
Essence 100 octane			1,6	6	429	-38	>3	300	900	100
Essence de térébenthine			0,7	2,5	253	35	4,8	100	560	300
Ethane			3	12,5	515	Gaz	1,03			
Ether éthylique	Ether sulfurique	C ₄ H ₁₀ O	1,9	36	160	-45	2,5			
Ethylène		C ₂ H ₄	2,7	36	490	Gaz	0,97			
Formaldéhyde	Formol	CH ₂ O	7	73	430	Gaz	1,07	2	3	0,5
Fuel n°1 (distille entre 175°C et 275°C)			0,6	4,5	254	70 à 190	>1			
Fuel n°2 (distille entre 185°C et 330°C)			0,5	4	259	70 à 190	>1			
Fuel n°3 (distille entre 210°C et 365°C)			0,4	3,7	263	70 à 190	>1			
Gasoil			0,6	13,5	338	65	>1			

Produits	Synonymes	Formules	Explosivité % en volume dans l'air		TA°C	PE°C	d	Toxicité valeurs		
			L.I.E.	L.S.E.				USA		ex- URSS
								ppm	mg/m³	mg/m³
Hexane		C ₆ H ₁₄	1,1	7,5	225	-22	2,9	100	360	
Hydrazine		N ₂ H ₄	4,7	100	270	38	>1	0,1	0,1	
Hydrogène		H ₂	4	75	400	Gaz	0,07			
Hydrogène sulfuré		H ₂ S	4	44	260	Gaz	1,2	10	14	10
Kérosène			0,7	5	210	38	4,5			300
Mercaptan éthylique	Mercaptan	C ₂ H ₆ S	2,8	18	299	21	2,1	0,5	1	1
Méthane		CH ₄	5	15	540	Gaz	0,5			
Naphtalène		C ₁₀ H ₈	0,9	5,9	526	79	4,4	10	50	20
Nitrate de propyle		C ₃ H ₇ NO ₃	2	100	175	20	>1	25	105	
Nitrite d'éthyle		C ₂ H ₅ NO ₂	3	50	90	-35	2,6			
Octane		C ₈ H ₁₈	1	6,5	220	13,3	3,8	300	1450	
Oxyde de carbone		CO	12,5	74	609	Gaz	0,96	50	55	20
Oxyde d'éthylène	Oxirane	C ₂ H ₄ O	3,6	100	429	-17,8	1,5	50	90	1
Oxyde de propylène		C ₃ H ₆ O	2,8	37		37,2	2	100	240	1
Oxysulfure de carbone			12	29		Gaz	2,1			10

Produits	Synonymes	Formules	Explosivité % en volume dans l'air		TA°C	PE°C	d	Toxicité valeurs		
								USA		ex- URSS
			L.I.E.	L.S.E.				ppm	mg/m ³	mg/m ³
Pentane		C ₅ H ₁₂	1,5	7,8	260	-40	2,5	600	1800	
Pétrole lampant			1,1	6	254	38	>1			
Propane		C ₃ H ₈	2,2	9,5	450	Gaz	1,5			
Propanol	Alcool propylique	C ₃ H ₈ O	2,5	13,5	371	15	>1			
Propylène		C ₃ H ₆	2	11,1	460	Gaz	1,5			
Sulfure de carbone		CS ₂	1,3	50	90	-30	2,1	10	30	1
Toluène		C ₇ H ₈	1,2	7,1	480	4,4	3,1	100	375	50
Trioxane		C ₃ H ₆ O ₃	3,6	29	414	45	>1			
White spirit			0,8	3,7	232	26,7	>1	100	575	300
Xylène		C ₈ H ₁₀	1	6	465	32	3,6	100	435	50



En intervention

Exemples de densité

COMBUSTIBLES	Densité	Comportement
OXYDE DE CARBONE	0,96	Monte
BUTANE	2	Descend
PROPANE	1,5	Descend
METHANE	0,5	Monte
ACETONE	2	Descend
MEHANOL	1,1	Stable
AMMONIAC	0,6	Monte
ESSENCE SUPER	3	Descend
HEXANE	2,9	Descend
HYDROGENE	0,07	Monte
KEROSENE	4,5	Descend
WHITE SPIRIT	>1	Descend

FIN

MERCI DE VOTRE ECOUTE

l'école de tous les acteurs de la
sécurité civile

www.ensosp.fr

 @ENSOSP

 Ensosp

