

# LA COMBUSTION DU GAZ

Composition des gaz

Grandeurs caractéristiques des gaz naturels

Grandeurs caractéristiques des gaz de pétrole

P.C.I. et P.C.S. des gaz naturels

P.C.I. et P.C.S. des gaz de pétrole

Grandeurs caractéristiques des gaz

Grandeurs caractéristiques des gaz

Mesures et appareils de mesures

Diagrammes de Biard

Rendements de combustion sur P.C.I.

Rendements de combustion sur P.C.S.

Nature du gaz		CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Gaz naturels	Lacq	97,3	–	2,1	–	0,2	–	0,1	–	–	0,3	–
	Algérie (Le Havre)	87	–	9,4	–	2,6	–	0,1	–	–	0,4	–
	Algérie (Fos)	91,2	–	6,5	–	1,1	–	0,6	–	–	1	–
	Algérie (Montoir)	87,1	–	8,8	–	2,5	–	0,2	–	–	0,8	–
	Mer du Nord	88,6	–	4,6	–	1,1	–	0,8	0,1	–	3,9	1,4
	Russie	92,3	–	3,2	–	0,8	–	0,3	0,1	–	3	0,4
	Groningue	82,9	–	3,2	–	0,6	–	0,2	0,1	–	12	1
Gaz de pétrole et leur mélange avec l'air	Propane	–	0,5	2	30	65,5	–	2	–	–	–	–
	Butane	–	3,2	–	–	6,1	21,8	68,6	0,3	–	–	–
	Air propané à 7,5 kWh/m <sup>3</sup> (n)	–	0,2	0,5	8,3	18,2	-	0,5	-	15,2	57,1	–
	Air Propané à 15,6 kWh/m <sup>3</sup> (n)	–	0,3	1,1	17,2	37,6	--	1,1	-	9	33,7	–

Nature du gaz		Va	Vfh	Vfs	VH <sub>2</sub> O	mH <sub>2</sub> O	VCO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> max
		m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	kg / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	%
Gaz naturels	Lacq	9,9	10,7	8,7	2,03	1,63	1,3	11,8
	Algérie (Le Havre)	10,7	11,8	9,6	2;16	1,74	1,16	12,1
	Algérie (Fos)	10,1	11,2	9,1	2,08	1,67	1,09	11,9
	Algérie (Montoir)	10,6	11,7	9,6	2,15	1,73	2,5	12,1
	Mer du Nord	9,6	10,6	8,7	1,98	1,59	1,1	12
	Russie	9,6	10,7	8,7	2	1,6	0,8	11,9
	Groningue	8,7	9,7	7,9	1,8	1,44	0,6	11,8

Nature du gaz		Va	Vfh	Vfs	VH <sub>2</sub> O	mH <sub>2</sub> O	VCO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> max
		m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	kg / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	%
Gaz de pétrole et leur mélange avec l'air	Propane	23,5	25,4	2	3,77	3,03	65,5	14,1
	Butane	30,7	33,1	–	4,82	3,87	6,1	14,3
	Air propané à 7,5 kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	5,7	6,9	0,5	1,03	0,82	18,2	14,1
	Air propané à 15,6 kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	12,9	14,4	1,1	2,14	1,72	37,6	14,1
	Air butané à 7,3 kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	5,5	6,8	1,1	0,99	0,79	37,6	14,3

Nature du gaz		PCI	PCI	PCS	PCS
		kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	kWh/kg	kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	kWh/kg
Gaz naturels	Lacq	10,2	13,8	11,3	15,3
	Algérie (Le Havre)	11,2	13,6	12,4	15,1
	Algérie (Fos)	10,6	13,6	11,8	15
	Algérie (Montoir)	11,1	13,5	12,3	15
	Mer du Nord	10,1	12,5	11,2	13,8
	Russie	10,1	13,1	11,2	14,4
	Groningue	9,1	11	10,1	12,12

Nature du gaz		PCI	PCI	PCS	PCS
		kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	kWh/kg	kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	kWh/kg
Gaz de pétrole et leur mélange avec l'air	Propane	25,4	12,8	27,5	13,9
	Butane	32,9	12,7	35,6	13,7
	Air propané à 7,5 kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	6,9	–	7,5	–
	Air propané à 15,6 kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	14,4	–	15,6	–
	Air butané à 7,3 kWh/m <sup>3</sup> <sub>(n)</sub>	6,7	–	7,3	–

Nature du gaz		mv	densité	LI	LS
		kg/m <sup>3</sup>	–	%	%
Gaz naturels	Lacq	0,74	0,74	5,1	14
	Algérie (Le Havre)	0,82	0,64	4,7	13,8
	Algérie (Fos)	0,78	0,60	4,9	13,9
	Algérie (Montoir)	0,78	0,64	4,7	13,8
	Mer du Nord	0,81	0,62	5,2	13,9
	Russie	0,78	0,60	5,2	14,3
	Groningue	0,83	0,65	5,7	15,6



Nature du gaz		mv	densité	LI	LS
		kg/m <sup>3</sup>	–	%	%
Gaz de pétrole et leur mélange avec l'air	Propane	1,98	1,53	2,4	9,3
	Butane	2,6	2	1,8	8,8
	Air propané à 7,5 kWh/m <sup>3</sup> (n)	1,47	1,14	8,7	33,8
	Air propané à 15,6 kWh/m <sup>3</sup> (n)	1,68	1,30	4,2	16,5
	Air butané à 7,3 kWh/m <sup>3</sup> (n)	1,55	1,20	10,5	37,5

L'analyse de combustion peut être faite en utilisant des analyseurs chimiques type « Brigon » qui ne donnent qu'un résultat ponctuel,

ou en utilisant des analyseurs « électroniques » qui donnent un résultat ponctuel ou une mesure en continu.



Dans les deux cas, le prélèvement s'effectuera dans l'axe du conduit à environ 1 diamètre de la buse de sortie fumée du générateur et toujours avant le coupe tirage.

La mesure consiste à prélever un volume précis de fumée à l'aide d'une poire et à le mélanger, après condensation et filtration, à la solution contenue dans l'analyseur. Selon l'analyseur utilisé, la solution absorbera le CO<sub>2</sub> ou l'O<sub>2</sub>, le volume de solution va augmenter et c'est cette augmentation, lue sur une échelle graduée de 0 à 21 qui donnera directement le pourcentage de CO<sub>2</sub> ou d'O<sub>2</sub> dans les fumées sèches.



- Vérifier l'état et l'étanchéité du système de prélèvement
- Appuyer sur le clapet de l'analyseur pour faire descendre le liquide
- Mettre le 0 de l'échelle mobile face au niveau de liquide
- Introduire le tube et actionner la poire pour chasser l'air
- Appuyer à fond l'embout du tube sur le clapet de l'analyseur
- Presser lentement la poire 18 fois
- En maintenant la poire pressée, lever le doigt de l'embout
- Retourner l'analyseur 3 ou 4 fois pour mélanger fumée et solution
- Poser l'analyseur verticalement et lire le % sur l'échelle

On mesure la température des fumées à l'aide d'un thermomètre gradué de 0 à 500 °C qui sera placé dans l'orifice de prélèvement.



La précision n'étant pas très grande, attendre que la température se stabilise, la repérer puis laisser le thermomètre refroidir dans l'air du local pour repérer la température de l'air mesurée. C'est cet écart de températures qu'il faudra prendre en compte dans les calculs des rendements.



Mesure directe et continue d'une dépression par introduction dans la cheminée ou dans le foyer de la sonde du déprimomètre.

- Placer l'appareil sur une surface plane et stable.
- Effectuer la mise à zéro de l'aiguille.
- Introduire l'embout métallique dans l'orifice prévu dans la cheminée ou dans le foyer.
- Lire la dépression sur le cadran gradué. ( 1 mmCE ~ 0,1 mbar )

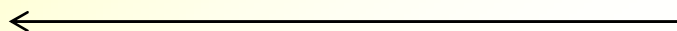
La mesure s'effectue par lecture de longueur de coloration d'une ampoule éprouvette graduée à usage unique placée dans une pompe à main permettant le prélèvement d'un volume précis de fumée.



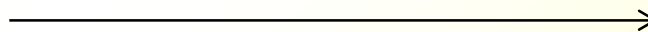
- Déposer la poignée de la pompe
- Casser les deux embouts d'une ampoule
- Introduire l'ampoule dans le manche creux de la pompe de façon à voir l'échelle dans la fenêtre
- Effectuer un prélèvement en actionnant la pompe 1 fois
- Lire le résultat sur l'échelle N=1
- Si le résultat est faible, effectuer un nouveau prélèvement en actionnant la pompe 9 fois
- Lire le résultat sur l'échelle N=10



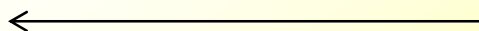
**Solution réactive pour CO<sub>2</sub>**



**Solution réactive pour O<sub>2</sub>**



**Ampoules pour CO**



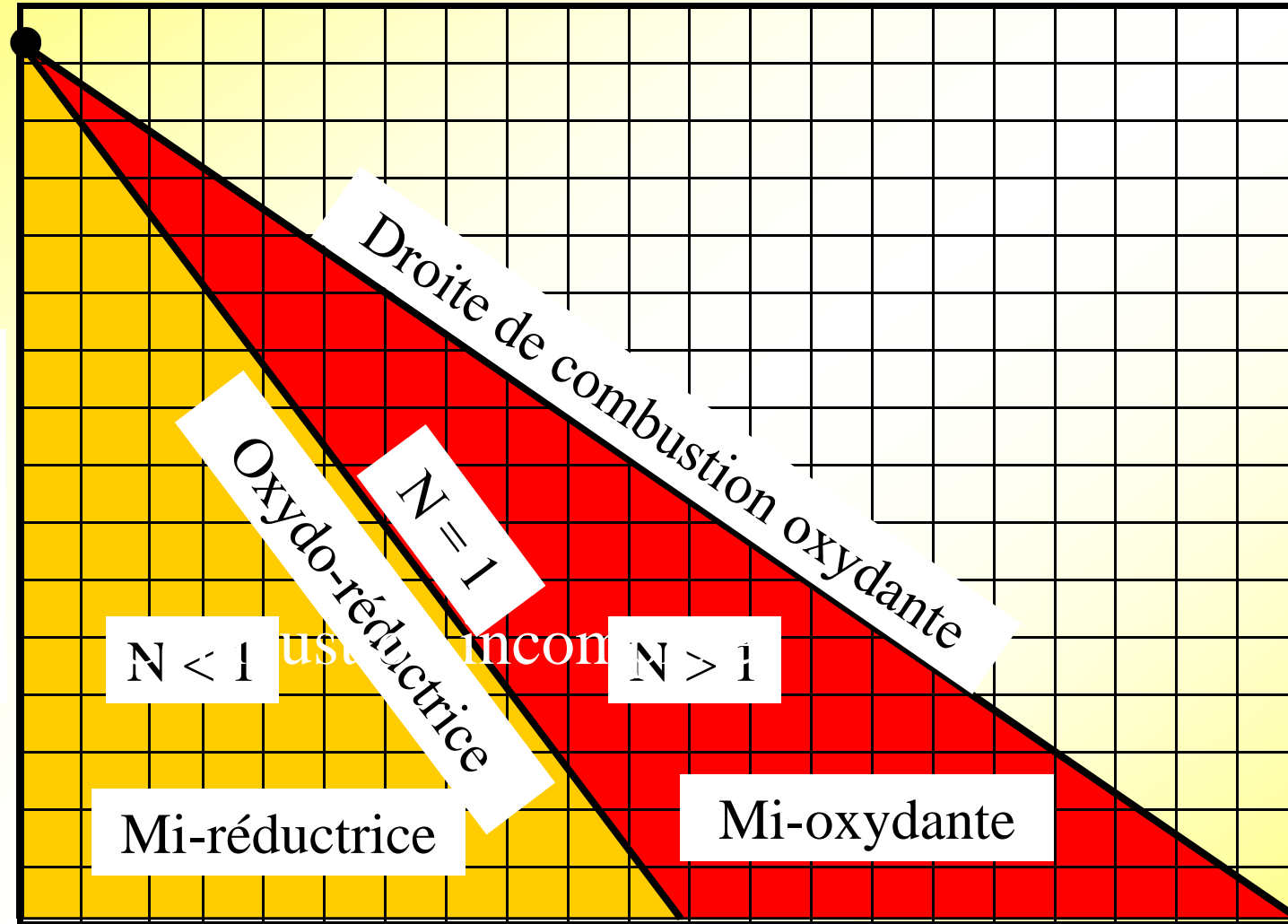
$\text{CO}_2$  n

Teneur en dioxyde de carbone dans les fumées sèches

Réductrice

14  
13  
12  
11

3  
2  
1  
0



$N < 1$

$N = 1$

$N > 1$

Mi-réductrice

Mi-oxydante

Teneur en oxygène dans les fumées sèches

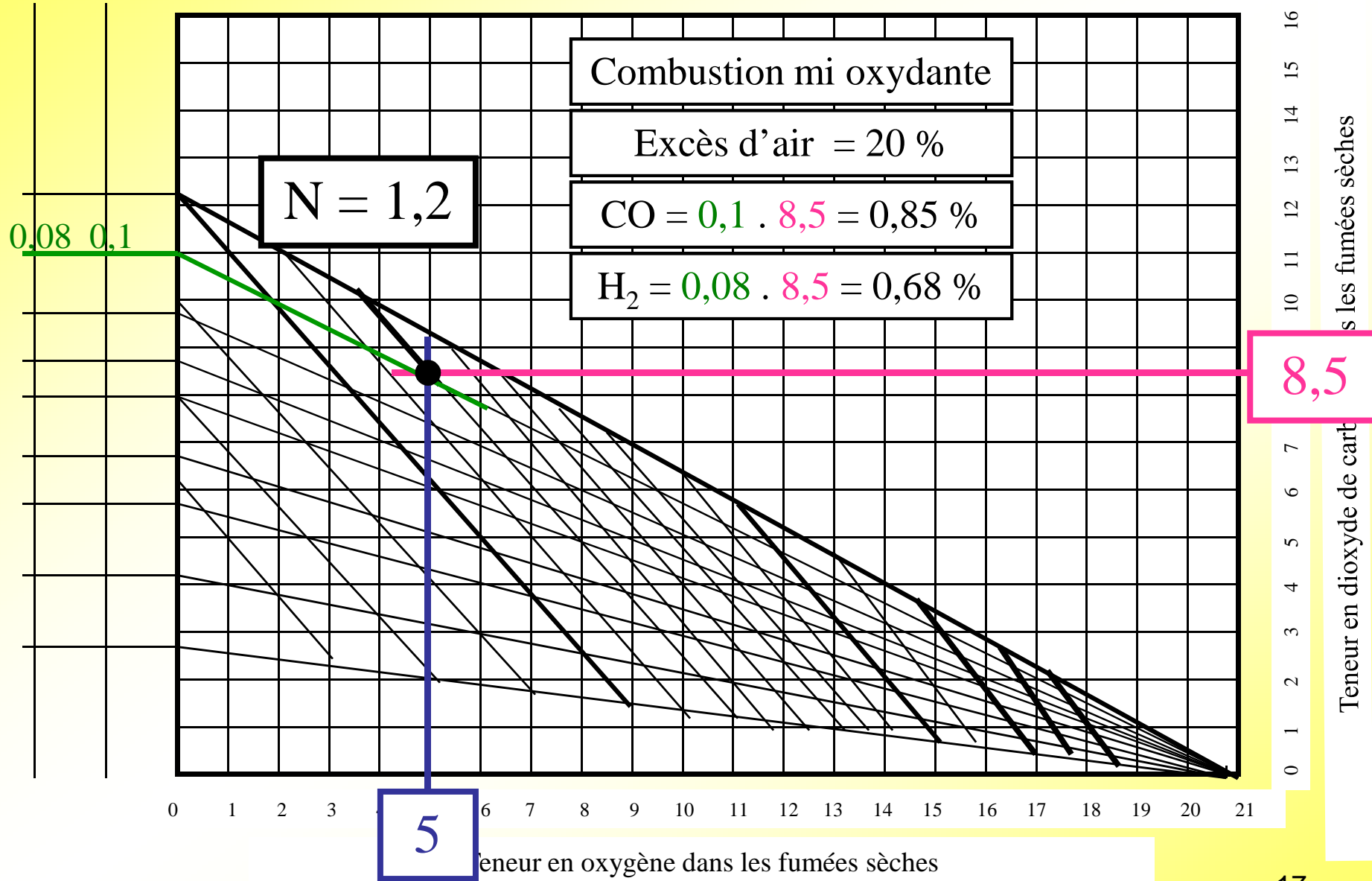
20,9 %



$$\frac{(H_2)}{(CO_2)} \quad \frac{(CO)}{(CO_2)}$$

$O_2 = 5 \%$

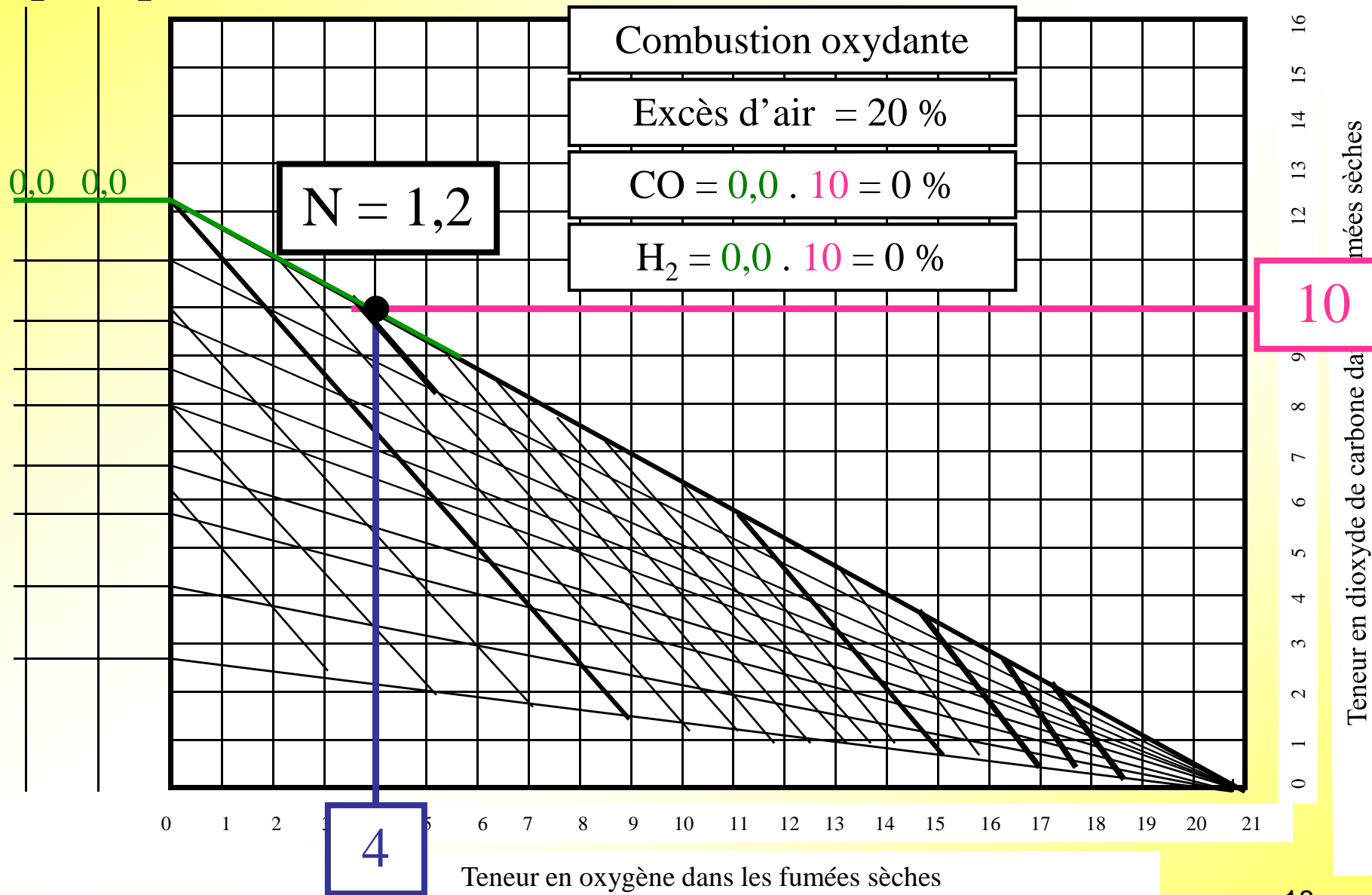
$CO_2 = 8,5 \%$



$$\frac{(H_2)}{(CO_2)} \quad \frac{(CO)}{(CO_2)}$$

$O_2 = 4 \%$

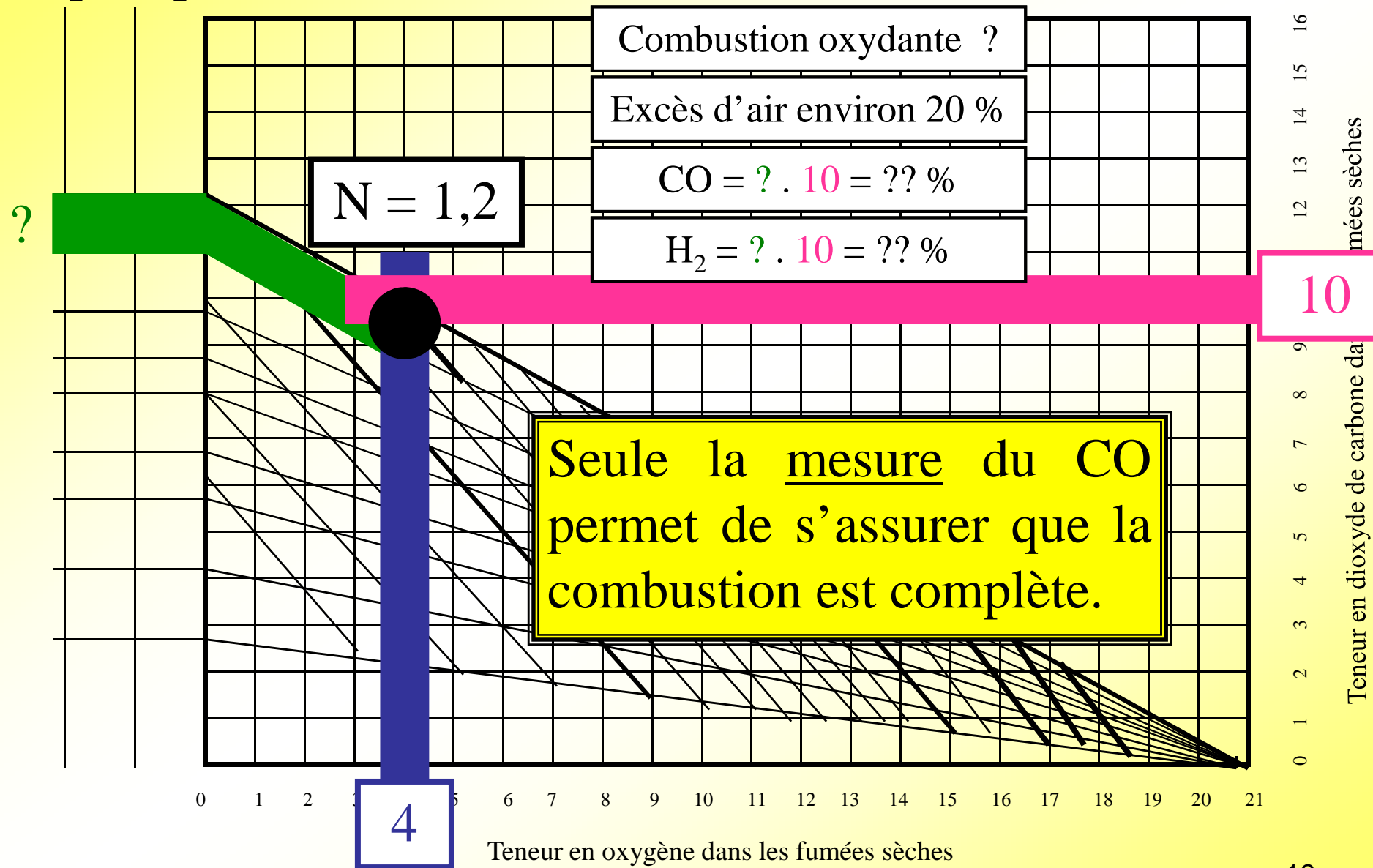
$CO_2 = 10 \%$



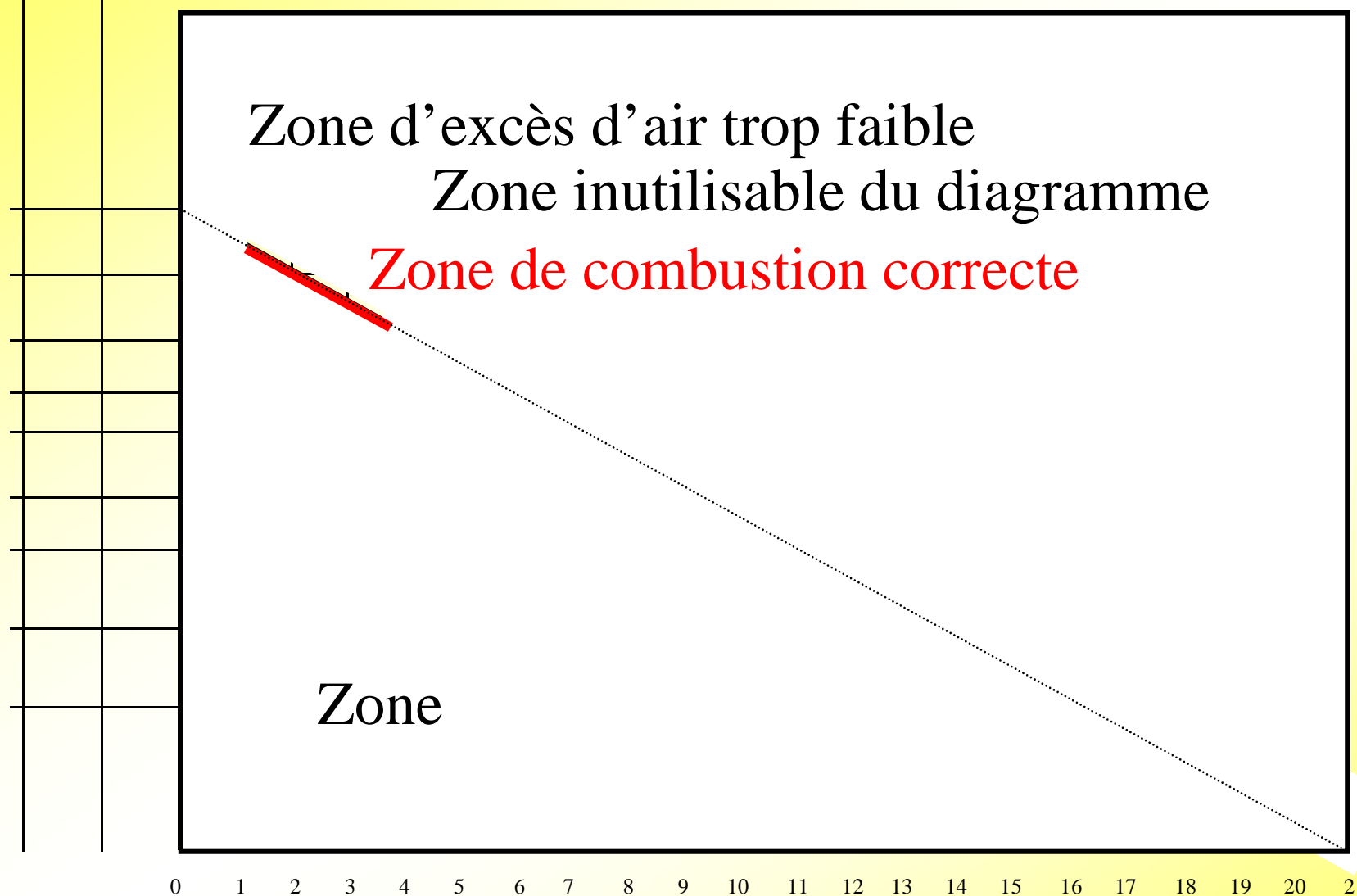
$$\frac{(H_2)}{(CO_2)} \quad \frac{(CO)}{(CO_2)}$$

$O_2 = 4 \%$

$CO_2 = 10 \%$



$\frac{(H_2)}{(CO_2)}$      $\frac{(CO)}{(CO_2)}$   
 $\frac{(CO_2)}{(CO_2)}$      $\frac{(CO_2)}{(CO_2)}$



Teneur en dioxyde de carbone dans les fumées sèches

Teneur en oxygène dans les fumées sèches

$$\eta_{\text{comb PCI}} = 100 - 0,47 \left( \frac{(\text{temp fumée} - \text{temp air})}{\% \text{ CO}_2} \right)$$

% CO <sub>2</sub>	température fumée - température air comburant											
	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
6	90,60	89,03	88,25	87,47	86,68	85,90	85,12	84,33	83,55	82,77	81,98	81,20
7	91,94	90,60	89,93	89,26	88,59	87,91	87,24	86,57	85,90	85,23	84,56	83,89
8	92,95	91,78	91,19	90,60	90,01	89,43	88,84	88,25	87,66	87,08	86,49	85,90
9	93,73	92,69	92,17	91,64	91,12	90,60	90,08	89,56	89,03	88,51	87,99	87,47
10	94,36	93,42	92,95	92,48	92,01	91,54	91,07	90,60	90,13	89,66	89,19	88,72
11	94,87	94,02	93,59	93,16	92,74	92,31	91,88	91,45	91,03	90,60	90,17	89,75
12	95,30	94,52	94,13	93,73	93,34	92,95	92,56	92,17	91,78	91,38	90,99	90,60

$$\eta_{\text{comb PCI}} = 100 - 0,84 \left[ \frac{(\text{temp fumée} - \text{temp air})}{21 - \% \text{ O}_2} \right]$$

% O <sub>2</sub>	température fumée - température air comburant											
	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
1	94,96	94,12	93,70	93,28	92,86	92,44	92,02	91,60	91,18	90,76	90,34	89,92
2	94,69	93,81	93,37	92,93	92,48	92,04	91,60	91,16	90,72	90,27	89,83	89,39
3	94,40	93,47	93,00	92,53	92,07	91,60	91,13	90,67	90,20	89,73	89,27	88,80
4	94,07	93,08	92,59	92,09	91,60	91,11	90,61	90,12	89,62	89,13	88,64	88,14
5	93,70	92,65	92,13	91,60	91,08	90,55	90,03	89,50	88,98	88,45	87,93	87,40
6	93,28	92,16	91,60	91,04	90,48	89,92	89,36	88,80	88,24	87,68	87,12	86,56
7	92,80	91,60	91,00	90,40	89,80	89,20	88,60	88,00	87,40	86,80	86,20	85,60
8	92,25	90,95	90,31	89,66	89,02	88,37	87,72	87,08	86,43	85,78	85,14	84,49
9	91,60	90,20	89,50	88,80	88,10	87,40	86,70	86,00	85,30	84,60	83,90	83,20
10	90,84	89,31	88,55	87,78	87,02	86,25	85,49	84,73	83,96	83,20	82,44	81,67

$$\eta_{\text{comb PCI}} = 100 - 0,51 \left[ \frac{(\text{temp fumée} - \text{temp air})}{\% \text{ CO}_2} \right]$$

% CO <sub>2</sub>	température fumée - température air comburant											
	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
6	89,80	88,10	87,25	86,40	85,55	84,70	83,85	83,00	82,15	81,30	80,45	79,60
7	91,26	89,80	89,07	88,34	87,61	86,89	86,16	85,43	84,70	83,97	83,24	82,51
8	92,35	91,08	90,44	89,80	89,16	88,53	87,89	87,25	86,61	85,98	85,34	84,70
9	93,20	92,07	91,50	90,93	90,37	89,80	89,23	88,67	88,10	87,53	86,97	86,40
10	93,88	92,86	92,35	91,84	91,33	90,82	90,31	89,80	89,29	88,78	88,27	87,76
11	94,44	93,51	93,05	92,58	92,12	91,65	91,19	90,73	90,26	89,80	89,34	88,87
12	94,90	94,05	93,63	93,20	92,78	92,35	91,93	91,50	91,08	90,65	90,23	89,80
13	95,29	94,51	94,12	93,72	93,33	92,94	92,55	92,15	91,76	91,37	90,98	90,58
14	95,63	94,90	94,54	94,17	93,81	93,44	93,08	92,71	92,35	91,99	91,62	91,26

$$\eta_{\text{comb PCI}} = 100 - 0,76 \left[ \frac{(\text{temp fumée} - \text{temp air})}{21 - \% \text{O}_2} \right]$$

% O <sub>2</sub>	température fumée - température air comburant											
	120	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
1	95,44	94,68	94,30	93,92	93,54	93,16	92,78	92,40	92,02	91,64	91,26	90,88
2	95,20	94,40	94,00	93,60	93,20	92,80	92,40	92,00	91,60	91,20	90,80	90,40
3	94,93	94,09	93,67	93,24	92,82	92,40	91,98	91,56	91,13	90,71	90,29	89,87
4	94,64	93,74	93,29	92,85	92,40	91,95	91,51	91,06	90,61	90,16	89,72	89,27
5	94,30	93,35	92,88	92,40	91,93	91,45	90,98	90,50	90,03	89,55	89,08	88,60
6	93,92	92,91	92,40	91,89	91,39	90,88	90,37	89,87	89,36	88,85	88,35	87,84
7	93,49	92,40	91,86	91,31	90,77	90,23	89,69	89,14	88,60	88,06	87,51	86,97
8	92,98	91,82	91,23	90,65	90,06	89,48	88,89	88,31	87,72	87,14	86,55	85,97
9	92,40	91,13	90,50	89,87	89,23	88,60	87,97	87,33	86,70	86,07	85,43	84,80
10	91,71	90,33	89,64	88,95	88,25	87,56	86,87	86,18	85,49	84,80	84,11	83,42



$$\eta_{\text{comb PCS}} = \eta_{\text{comb PCI}} \cdot \frac{\text{PCI}}{\text{PCS}}$$

Combustible	PCI / PCS
Gaz manufacturés	0,89
Gaz naturels L	0,89
Gaz naturels H	0,90
Butane - Propane	0,92