

Formation N4

Eléments de calcul des tables

Sommaire

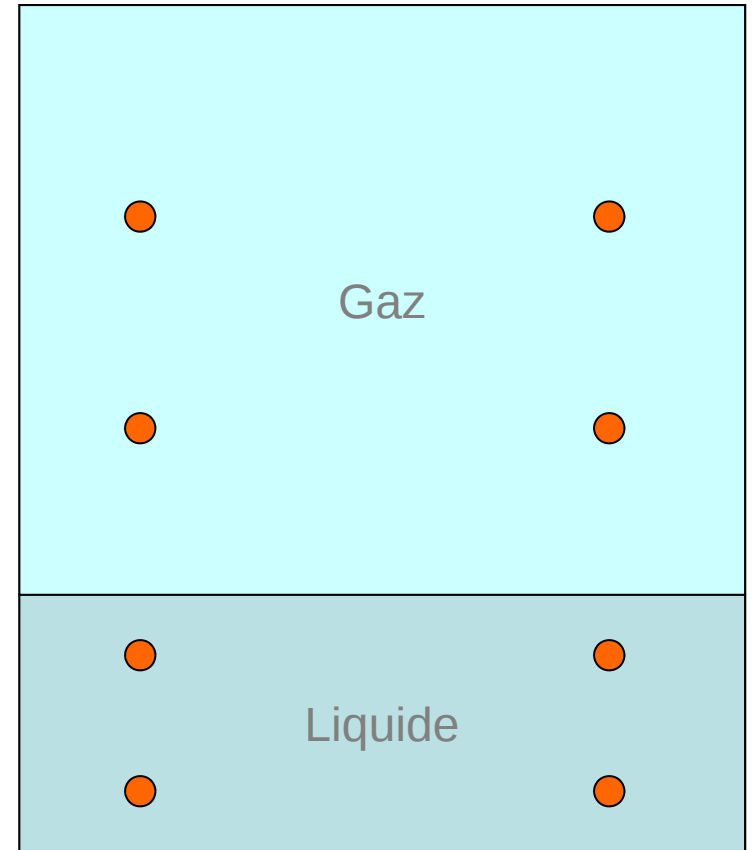
- Pression // Tension
- Les gaz dans tous leurs états
- Le gradient
- Qu'est ce qu'un modèle
- Le compartiment
- Calculer la Tension d'un compartiment
- Le compartiment directeur
- Calculer la profondeur des paliers

Rappels

- $P_{abs}(b) = P_{atm}(b) + P_{relative}(b)$
- $P_{partielle}(b) = P_{mélange}(b) \times \%/100$

La tension de gaz

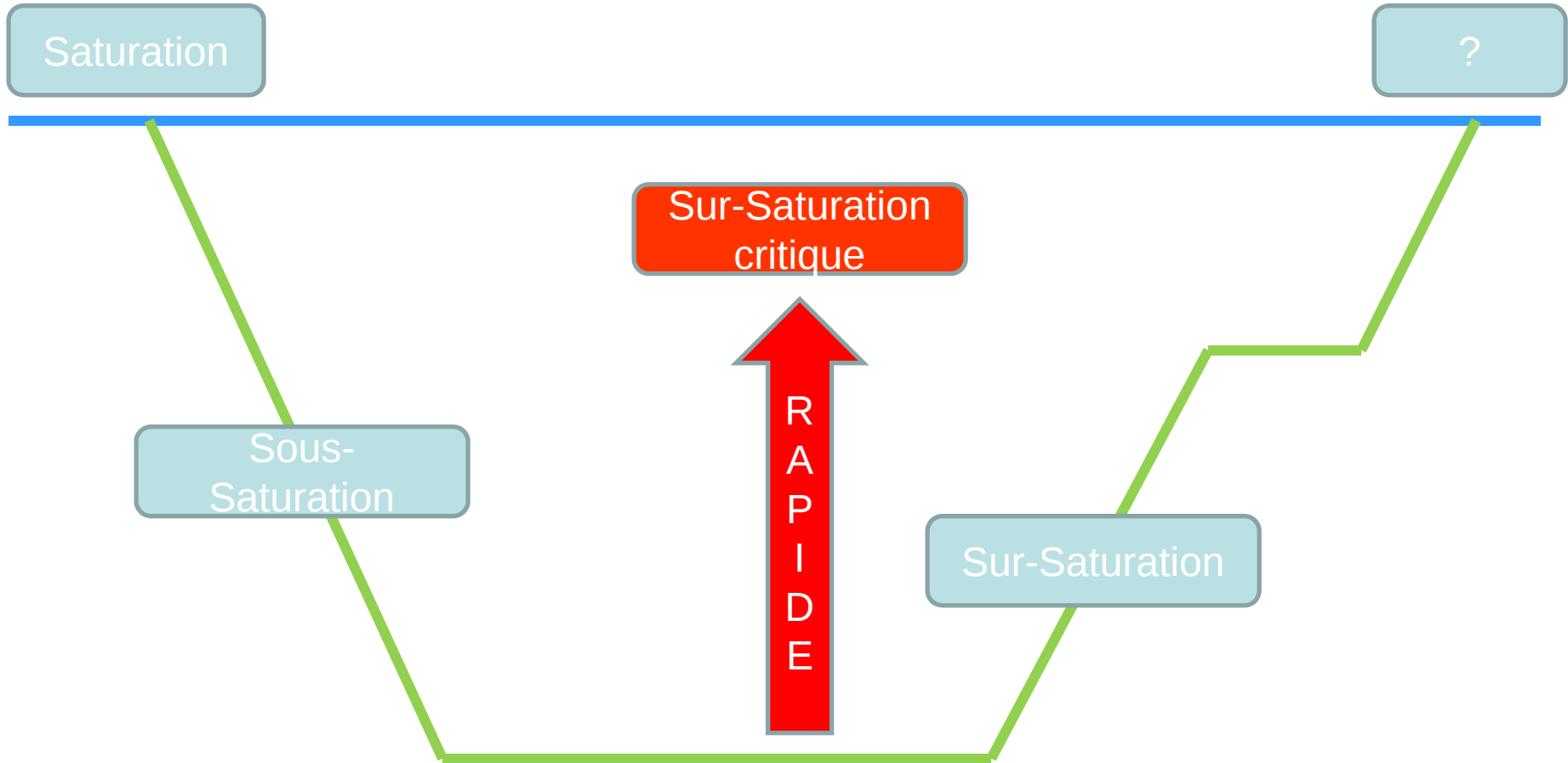
- Le Gaz a tendance à se dissoudre dans le liquide
 - Pour le gaz qui est au dessus du liquide, on parle de Pression Partielle (P_p)
 - Pour le gaz qui est dissout dans le liquide, on parle de Tension (T), elle est aussi exprimée en bar



Les différents états

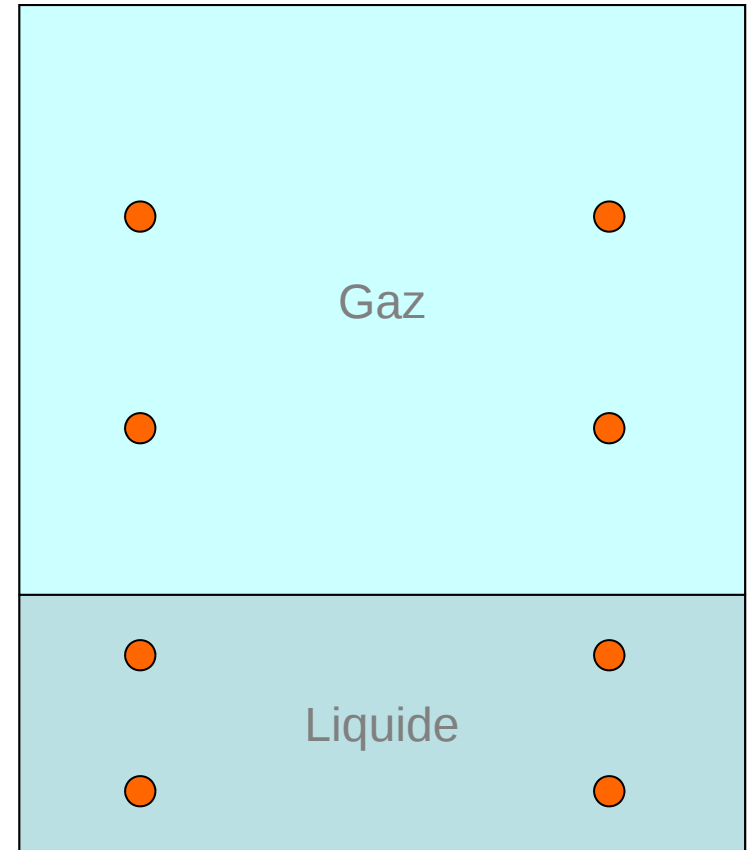
- En fonction de la **Pp** du gaz et de la **T** du gaz on détermine 4 états :
 - Saturation :
 - La Pp du gaz = la T du gaz : le système est à l'équilibre
 - Sous-saturation :
 - Pp du gaz > T du gaz : des molécules de gaz se dissolvent dans le liquide
 - Sur-saturation :
 - Pp du gaz < T du gaz : des molécules de gaz sortent du liquide
 - Sur-saturation critique:
 - Pp du gaz < T du gaz : la différence est trop importante, des bulles de gaz se forment à l'intérieur du liquide
- Le passage d'un état à un autre prends du temps !

Les différents états



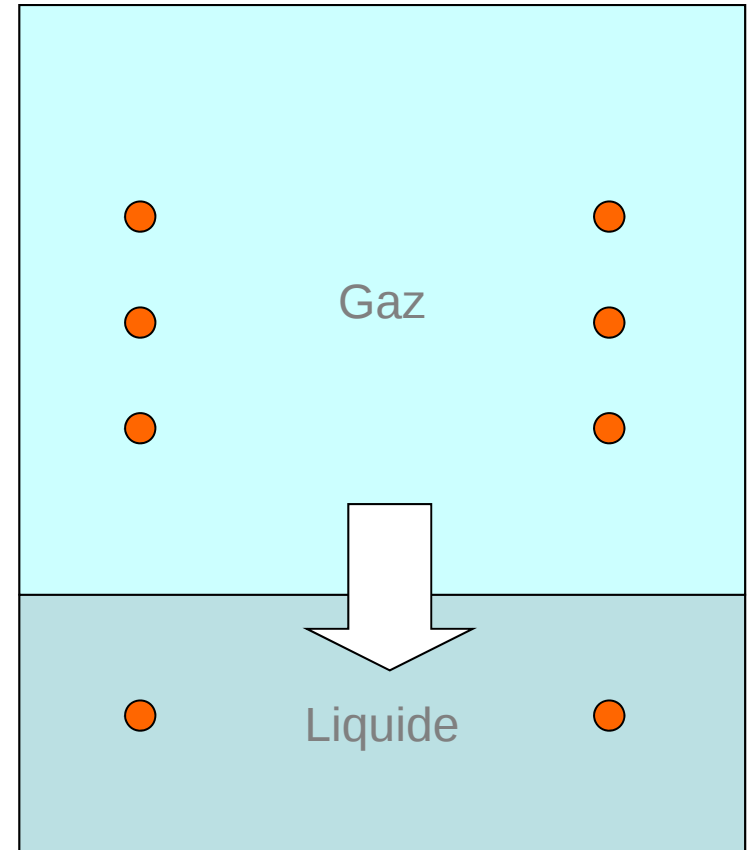
La saturation

- $P_p \text{ gaz} = T \text{ gaz}$
- Il y a équilibre
- Par exemple avant de partir plonger



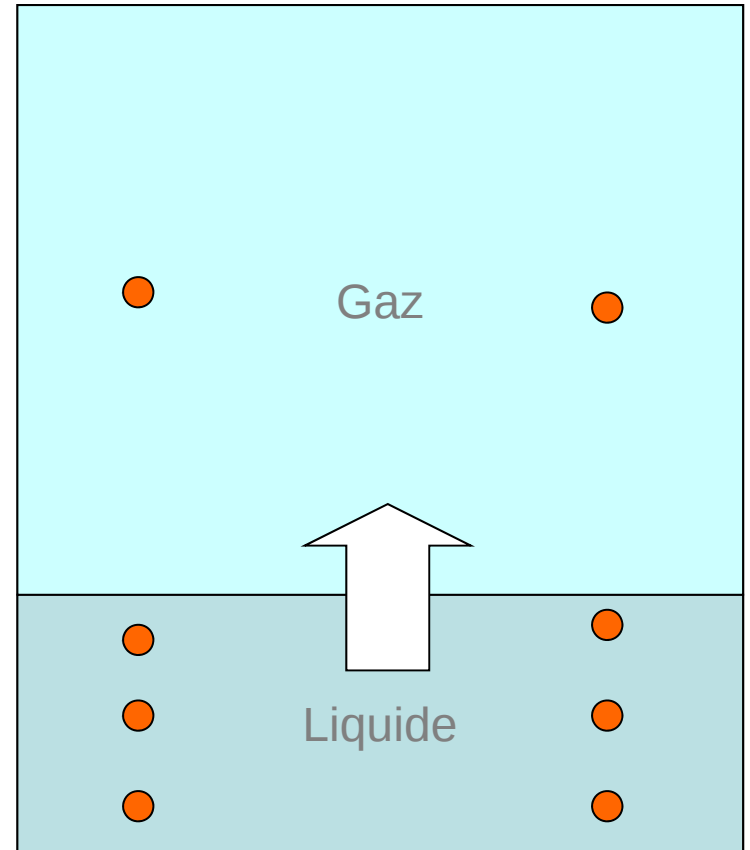
La sous-saturation

- $P_p \text{ gaz} > T \text{ gaz}$
- Il y a passage de molécules du gaz vers le liquide jusqu'à atteindre l'équilibre
- Par exemple lors de la descente en plongée



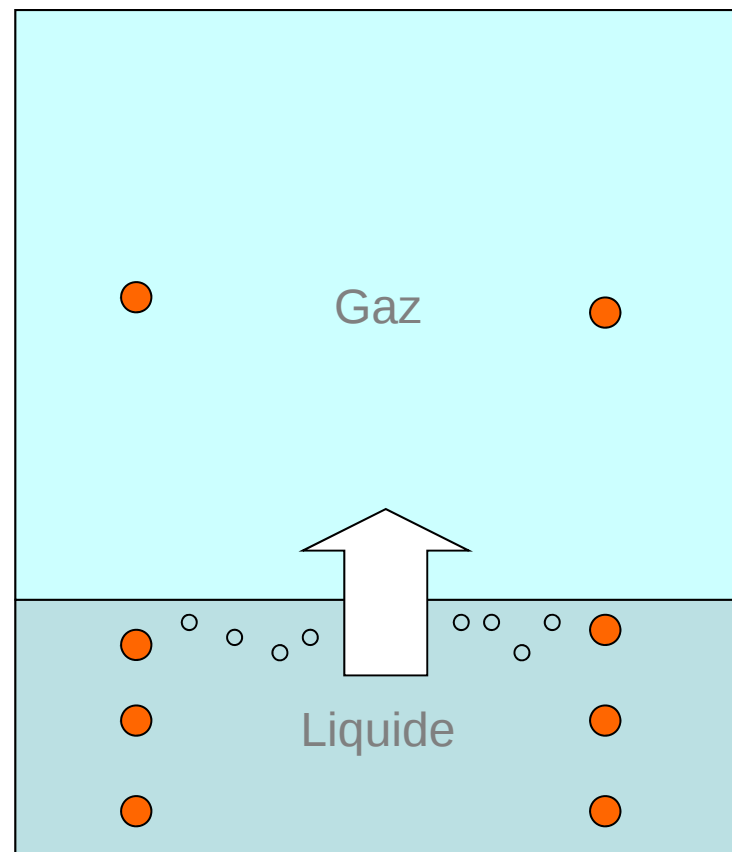
La sur-saturation

- $P_p \text{ gaz} < T \text{ gaz}$
- Il y a passage de molécules du liquide vers le gaz
- Par exemple lors de la remontée en plongée



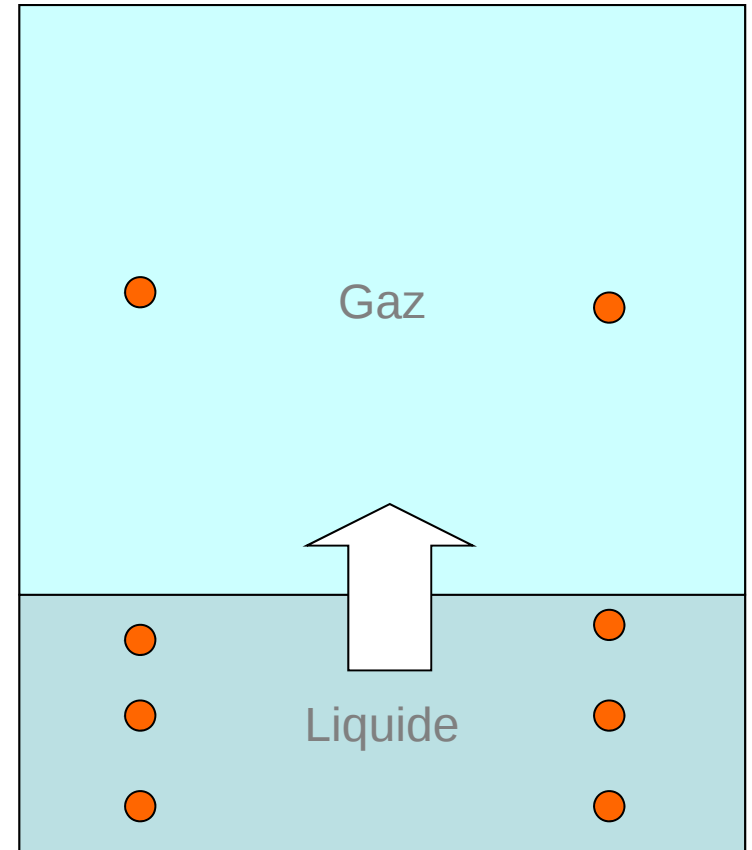
La sur-saturation critique

- La différence entre T gaz & P_p gaz est très importante
- Il y a passage de molécules du liquide vers le gaz, les bulles de gaz se forment au sein du liquide
- Par exemple lorsque des paliers ne sont pas réalisés



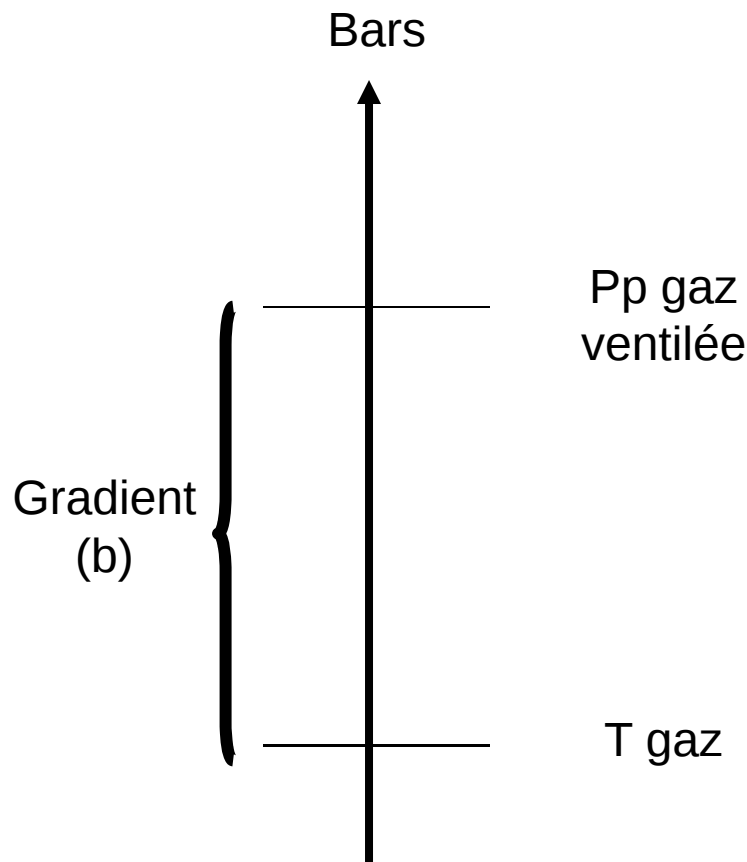
Le gradient de pression

- La différence entre la P_p du gaz et la T du gaz est appelée le gradient de pression
- Plus le gradient est important, plus les passages de molécules sont importants
- C'est l'**accélérateur** de la **dissolution** ou de la **restitution** du gaz par le liquide



Le gradient de pression

- C'est la différence entre la Pp gaz ventilée et la T gaz



Calcul de gradient : A vous

- Je n'ai pas plongé depuis plusieurs jours, je vais plonger à 20 m
 - En surface : $P_{pN_2} = TN_2$ on est à saturation
 - $P_{abs} = 1 \text{ b}$
 - $TN_2 = 1 \text{ b} \times 80/100$ (l'air contient 80% de N_2)
 - $TN_2 = 0,8 \text{ b}$
 - A 20 m
 - $P_{abs} = 3 \text{ b}$
 - $P_{pN_2} = 3 \text{ b} \times 80/100$
 - $P_{pN_2} = 2,4 \text{ b}$
 - Le gradient :
 - $G = P_{pN_2} - TN_2$
 - $G = 2,4 \text{ b} - 0,8 \text{ b}$
 - $G = 1,6 \text{ b}$

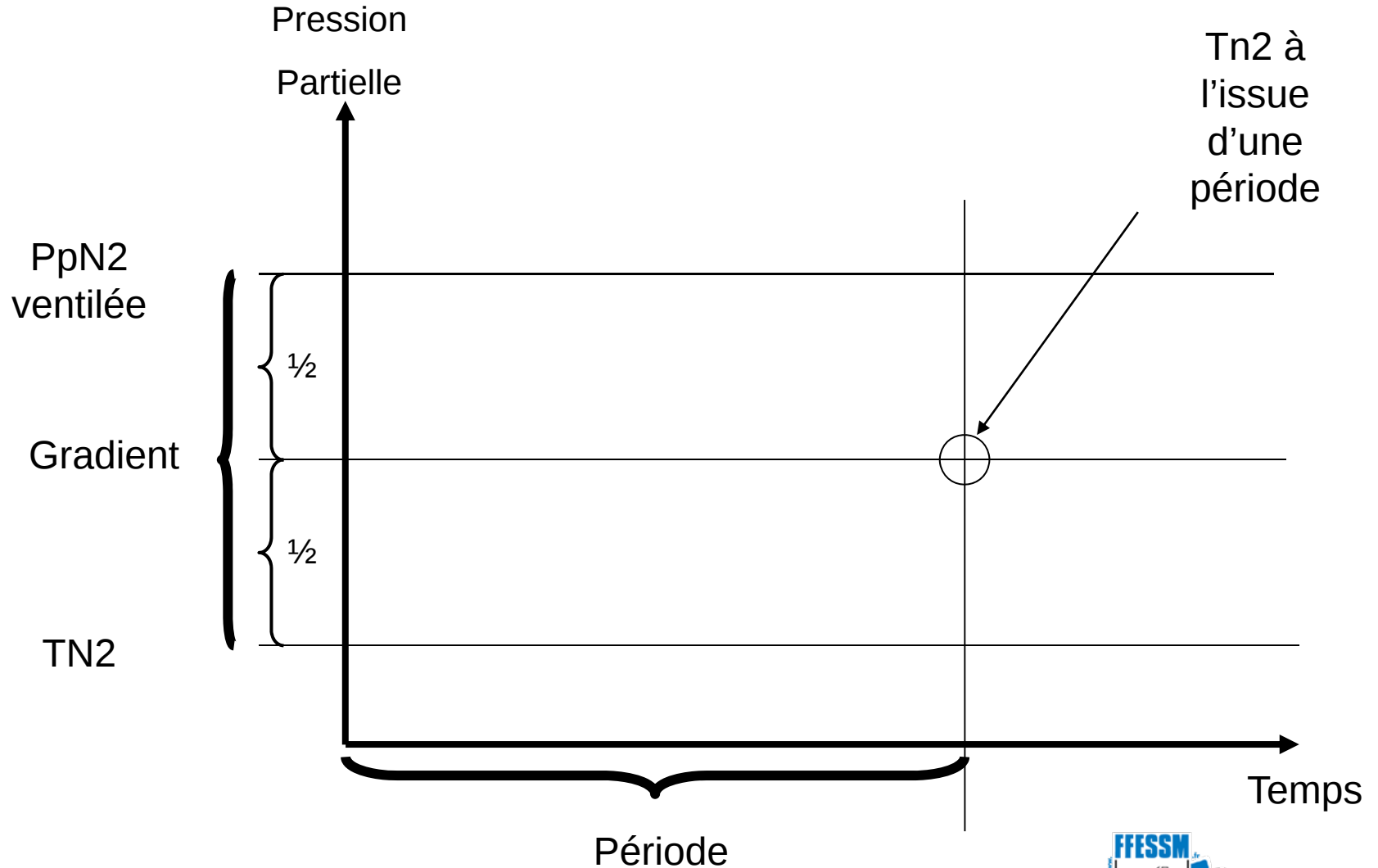
Modéliser la décompression

- Il est illusoire de calculer ce qui se passe au niveau du corps humain, les paramètres à prendre en compte sont trop nombreux
 - La solution : créer un modèle plus simple à calculer
 - La base du modèle haldanien est le compartiment
 - C'est la charge / décharge de N₂ qui est modélisée

Le compartiment

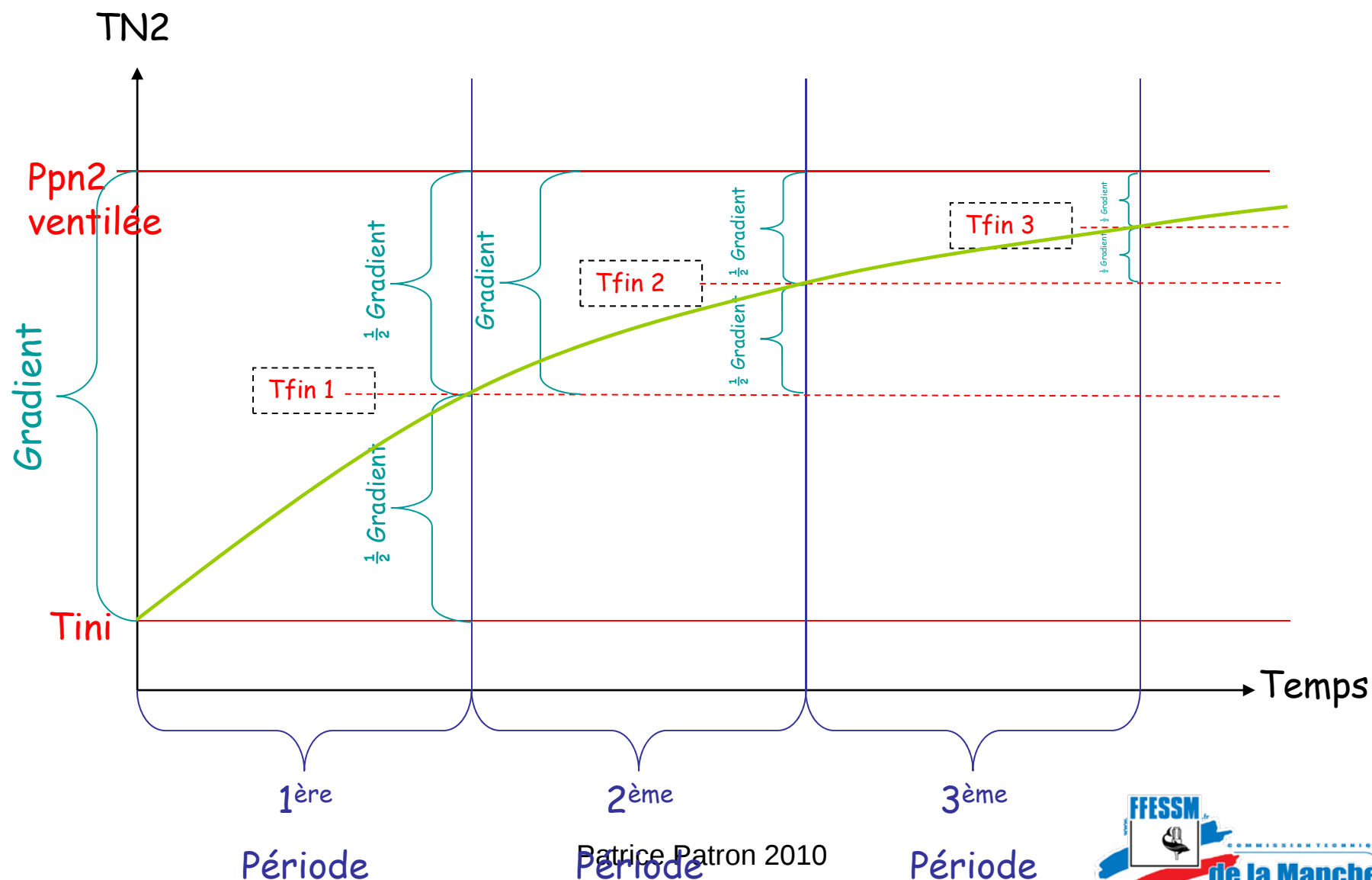
- Un **compartiment** se définit à l'aide de deux notions :
 - Sa **période** : le temps qu'il met pour absorber la **moitié du gradient**
 - Son **coefficient de sursaturation** : une valeur que le rapport $Tn2 / Pabs$ ne peut dépasser lors de la remontée

Le compartiment



Patrice Patron 2010

La courbe de saturation



Calculer la TN2

- On va parler de :
 - Tfinale ou PpN2 ventilée, la TN2 va tendre à approcher cette valeur
 - **Torigine**, la TN2 qui réside dans le compartiment
- Valeur de la TN2 après une période :
 - $TN2 = T_{ori} + (T_{fin} - T_{ori})/2$
 - $(T_{fin} - T_{ori})$ représente le gradient
 - Donc à la tension d'origine T_{ori} on ajoute la moitié du gradient soit $(T_{fin} - T_{ori})/2$

Calculer la TN2 encore plus simple

- Après simplification mathématique la formule :
 - $TN2 = T_{ori} + (T_{fin} - T_{ori})/2$
- Devient
 - $TN2 = (T_{ori} + T_{fin})/2$

A vous

- Un compartiment de période 10 minutes est exposé pendant 30 minutes à une profondeur de 20 mètres.
 - Quelle est la tension initiale
 - Quelle est la Pression Partielle ventilée
 - Quelle sera la tension finale

Mise en pratique (1/2)

- Un compartiment de période 10 minutes est exposé pendant 30 minutes à une profondeur de 20 mètres.
- Quelle est la Tension de départ ?
 - En surface, $P_{abs} = 1 \text{ b}$, $P_{pN2} = P_{abs} \times \%$, $P_{pN2} = 1 \times 80/100$,
 $P_{pN2} = 0,8 \text{ b}$
- Quelle est la Tension finale ou la P_{pN2} ventilée à 20 m ?
 - A 20 m, $P_{abs} = 3 \text{ b}$, $P_{pN2} = P_{abs} \times \%$, $P_{pN2} = 3 \times 80/100$,
 $P_{pN2} = 2,4 \text{ b}$
- Combien de période d'exposition ?
 - $\text{Nb périodes} = \text{Durée} / \text{Période}$, $\text{Nb périodes} = 30 / 10 = 3$ périodes

Mise en pratique (2/2)

	Tori	PpN2 ventilée	$(\text{Tori} + \text{PpN2})/2$
1 ^{ère} période	0,8 b	2,4 b	$(0,8 + 2,4) / 2 = 1,6 \text{ b}$
2 ^{ème} période	1,6 b	2,4 b	$(1,6 + 2,4) / 2 = 2 \text{ b}$
3 ^{ème} période	2 b	2,4 b	$(2 + 2,4) / 2 = 2,2 \text{ b}$

A vous

- Calculez les tensions d'azote dans des compartiments 5 minutes, 10 minutes, 15 minutes exposés pendant 30 minutes à une profondeur de 40 mètres.

Plusieurs compartiments (1/5)

- Calculez les tensions d'azote dans des compartiments 5 minutes, 10 minutes, 15 minutes exposés pendant 30 minutes à une profondeur de 40 mètres.
- Quelle est la Tension de départ ?
 - En surface, $P_{abs} = 1 \text{ b}$, $P_{pN2} = P_{abs} \times \%$, $P_{pN2} = 1 \times 80/100$, $P_{pN2} = 0,8 \text{ b}$
- Quelle est la Tension finale ou la P_{pN2} ventilée à 40 m ?
 - A 40 m, $P_{abs} = 5 \text{ b}$, $P_{pN2} = P_{abs} \times \%$, $P_{pN2} = 5 \times 80/100$, $P_{pN2} = 4 \text{ b}$

Plusieurs compartiments (2/5)

- Combien de période d'exposition (on prend la période la plus petite) ?
 - Nb périodes = Durée / Période, Nb périodes = 30 / 5 = 6 périodes
- On effectue les calculs pour ce compartiment :
 - 6 périodes
 - calculer six fois $TN2 = (T_{\text{ori}} + T_{\text{fin}}) / 2$
- Puis on utilisera les calculs de ce compartiment pour les autres

Plusieurs compartiments (3/5)

	Tori	PpN2 ventilée	$(Tori + PpN2)/2$
1 ^{ère} période	0,8 b	4 b	$(0,8 + 4) / 2 = 2,4 \text{ b}$
2 ^{ème} période	2,4 b	4 b	$(2,4 + 4) / 2 = 3,2 \text{ b}$
3 ^{ème} période	3,2 b	4 b	$(3,2 + 4) / 2 = 3,6 \text{ b}$
4 ^{ème} période	3,6 b	4 b	$(3,6 + 4) / 2 = 3,8 \text{ b}$
5 ^{ème} période	3,8 b	4 b	$(3,8 + 4) / 2 = 3,9 \text{ b}$
6 ^{ème} période	3,9 b	4 b	$(3,9 \text{ b} + 4) / 2 = 3,95 \text{ b}$

Plusieurs compartiments (4/5)

Pour une durée de 30 minutes :

- Le compartiment 5 minutes évolue 6 fois
- Le compartiment 10 min évolue 3 fois

➤ On récupère les valeurs de calcul des périodes du compartiment 5 minutes

	C5		C10
1 ^{ère} période	2,4 b	1 ^{ère} période	2,4 b
2 ^{ème} période	3,2 b	2 ^{ème} période	3,2 b
3 ^{ème} période	3,6 b	3 ^{ème} période	3,6 b
4 ^{ème} période	3,8 b		
5 ^{ème} période	3,9 b		
6 ^{ème} période	3,95 b		

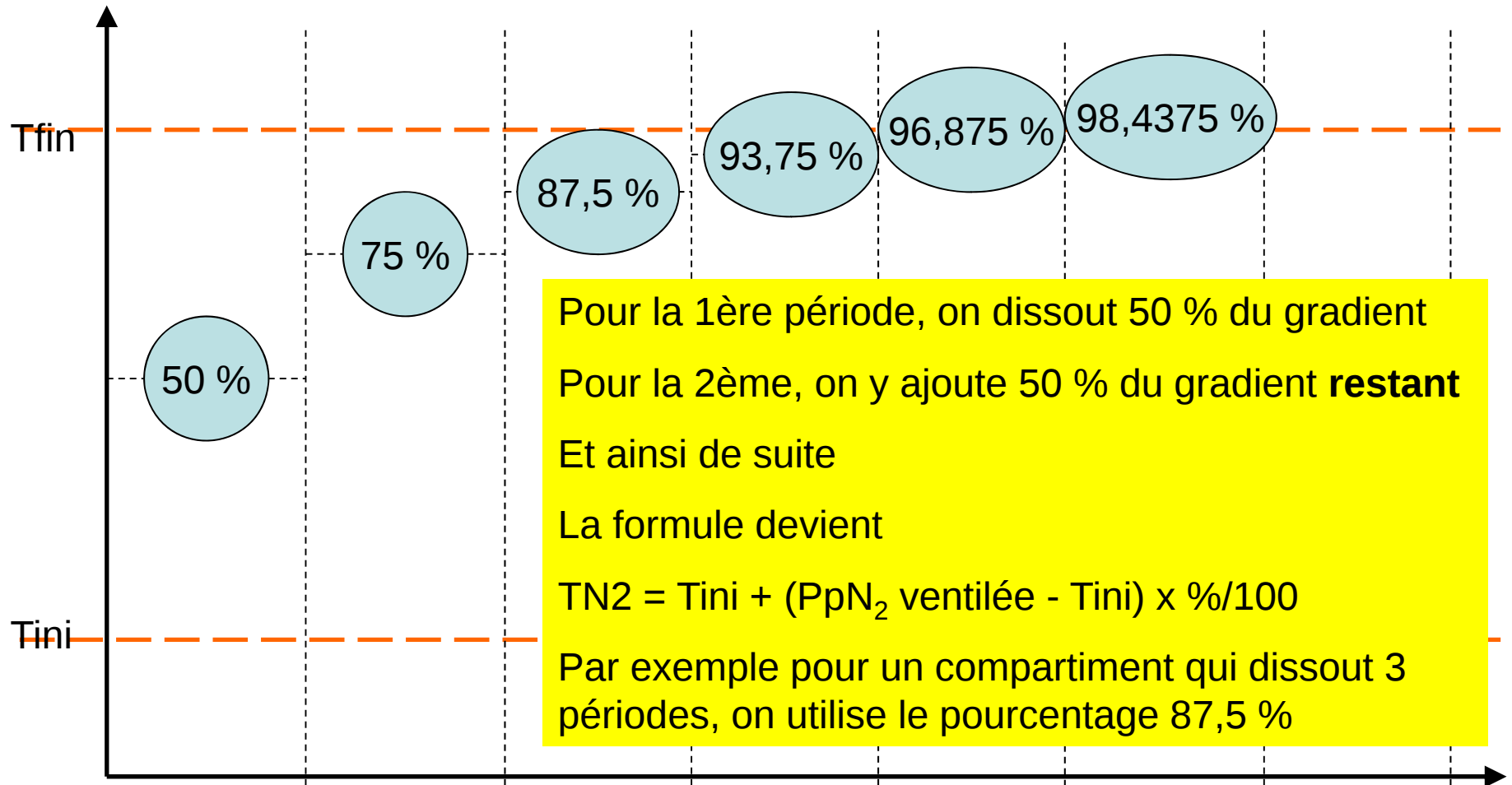
Plusieurs compartiments (5/5)

	C5		C10		C15
1 ^{ère} période	2,4 b	1 ^{ère} période	2,4 b	1 ^{ère} période	2,4 b
2 ^{ème} période	3,2 b	2 ^{ème} période	3,2 b	2 ^{ème} période	3,2 b
3 ^{ème} période	3,6 b	3 ^{ème} période	3,6 b		
4 ^{ème} période	3,8 b				
5 ^{ème} période	3,9 b				
6 ^{ème} période	3,95 b				

Pour une durée de 30 minutes :

- Le compartiment 15 min évolue 2 fois

La méthode des %



A vous

- Calculez la tension en azote dans un compartiment de période 10 minutes au bout de 30 minutes de ventilation d'air à 25 de profondeur (O_2 20%, N_2 80%) à l'aide de la méthode des pourcentages.

Le calcul

- 30 minutes => 3 périodes
- 3 périodes => 87,5 %
- 25 m => Pabs = 3,5 b
- $PpN_2\text{ ventilée} = Pabs \times \%N_2 = 3,5 \times 0,8 = 2,8 \text{ b}$
- $Tini = Pabs \times \%N_2 = 1 \times 0,8 = 0,8 \text{ b}$
- $TN_2 = Tini + (PpN_2 \text{ ventilée} - Tini) \times 87,5/100$
- $TN_2 = 0,8 + (2,8 - 0,8) \times 87,5/100$
- $TN_2 = 0,8 + 2 \times 87,5/100$
- $TN_2 = 0,8 + 1,75 = \mathbf{2,55 \text{ b}}$

Le coefficient de sursaturation

- Chaque compartiment a son propre coefficient de sursaturation souvent écrit **Sc**.
- Il est défini par :
 - $Sc = Tn2/Pabs$
- Il représente le rapport maximal Tension / Pression absolue supporté par un compartiment (pour Haldane c'était 2)
- S'il est dépassé on passe en **sursaturation critique** => des paliers sont nécessaires

Utiliser le Sc

- La formule de base :
 - $Sc = TN^2 / Pabs$
- Peut être modifiée en :
 - $Pabs = Tn^2 / Sc$
- Pabs représente
 - la Pabs maximale à laquelle on peut remonter le compartiment
 - la profondeur du palier nécessaire pour ce compartiment

Compartiment C5

- Le compartiment de période 5 minutes a un SC de 2,72
- Avec une TN2 de 3,95 b jusqu'où puis je le remonter ?

Compartiment C5

- $TN2 = 3,95 \text{ b}$, $SC = 2,72$
- $Sc = TN2 / Pabs$
- $Pabs = TN2 / Sc$
- $Pabs = 3,95 / 2,72 = 1,45 \text{ b}$
- $Pabs = 1,45 \text{ b} \Rightarrow \text{Profondeur} = 4,5 \text{ m}$

A vous

- Effectuez le calcul pour les compartiments de période C10 et C15

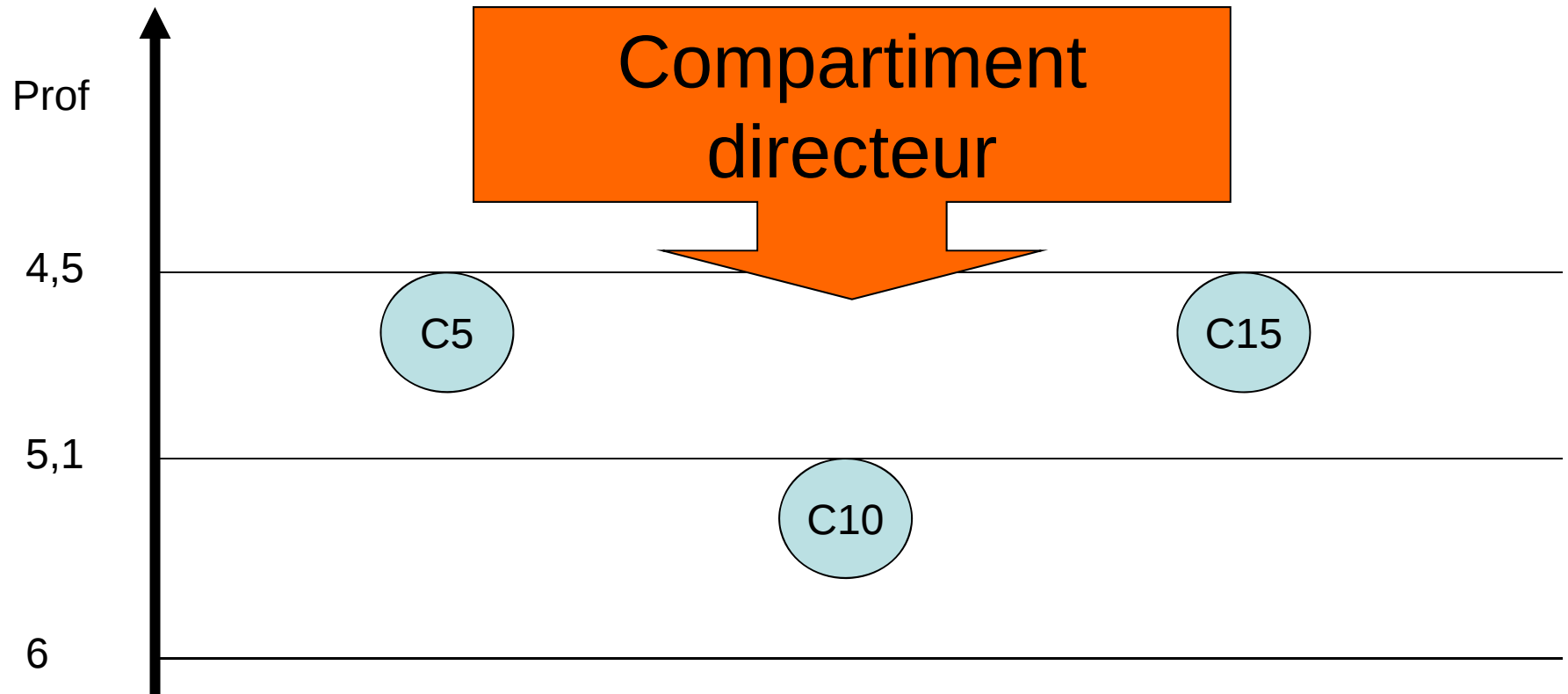
	TN2	Sc
C5	3,95 b	2,72
C10	3,6 b	2,38
C15	3,2 b	2,20

Plusieurs compartiments

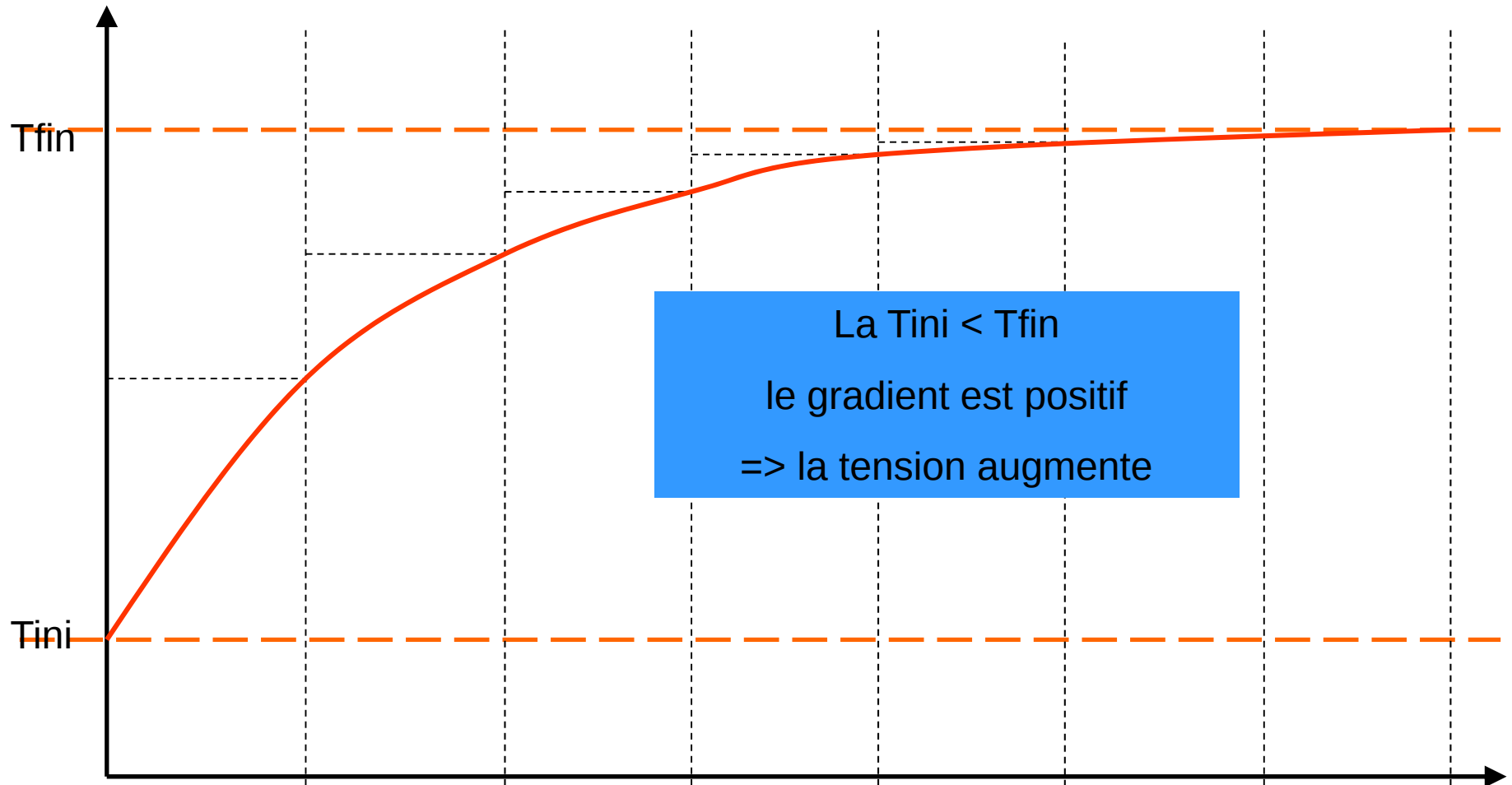
On calcule pour chaque compartiment le rapport $TN2/Sc$, on en déduit la profondeur à laquelle on peut remonter le compartiment

	TN2	Sc	$P_{abs} = TN2/Sc$	Profondeur ($P_{abs} - 1$) x 10
C5	3,95 b	2,72	$3,95 / 2,72 = 1,45$ b	4,5 m
C10	3,6 b	2,38	$3,6 / 2,38 = 1,51$ b	5,1 m
C15	3,2 b	2,20	$3,2 / 2,20 = 1,45$ b	4,5m

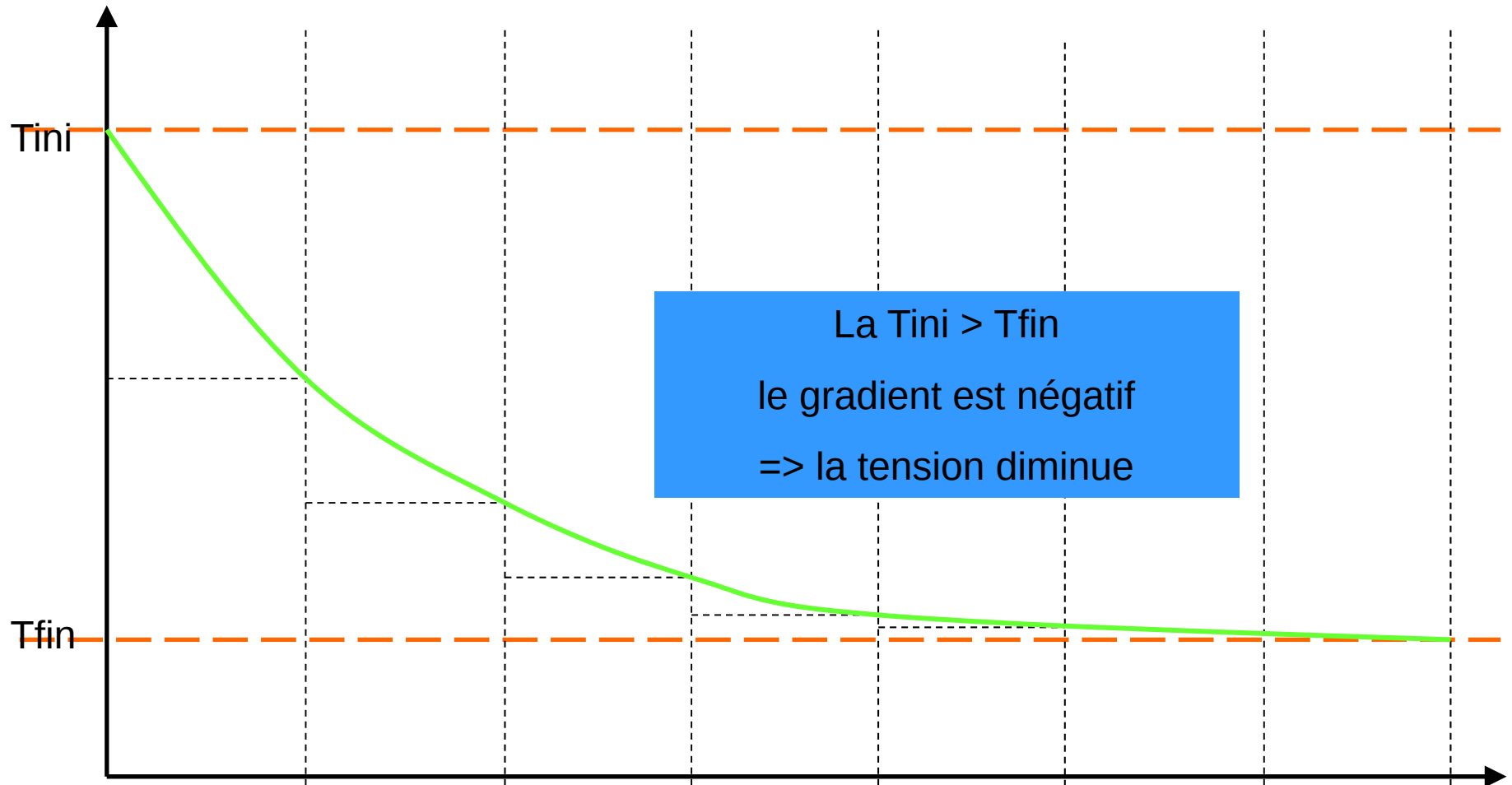
A quoi ça sert ?



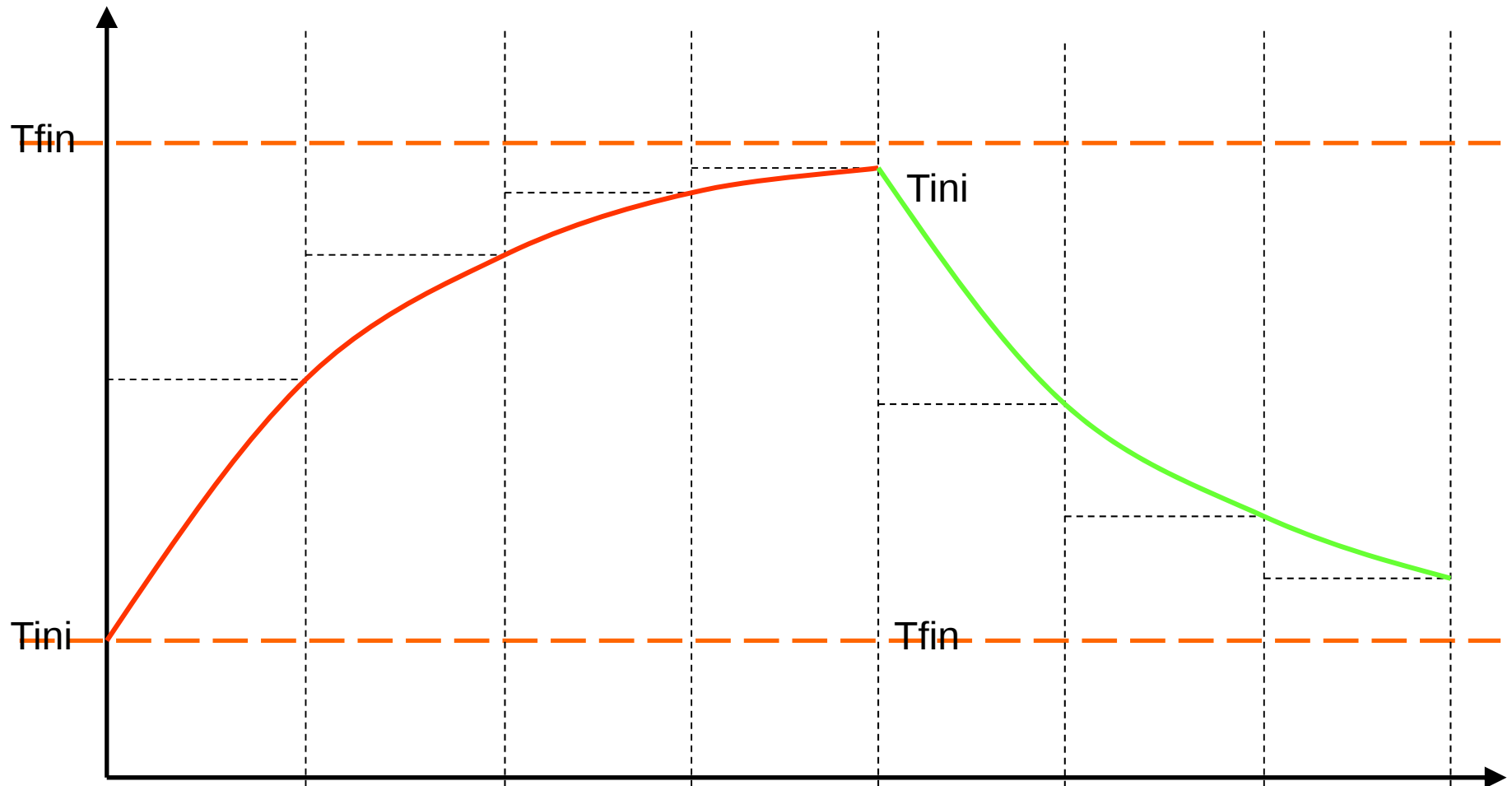
Courbe de saturation



Courbe de désaturation



Courbe de saturation / désaturation



Un classique

- Vous exposez un compartiment de période 10 minutes pendant 20 minutes à 40 m puis 20 minutes à 20 m
- Vous exposez un compartiment de période 10 minutes pendant 20 minutes à 20 m puis 20 minutes à 40 m
- Qu'en déduisez vous ?

Autre classique

- Vous exposez un compartiment de 10 minutes dont la tension est de 2 bars pendant 20 minutes à de l'oxygène pur ($P_{pN_2} = 0\%$)

Le grand classique

- Déterminer la profondeur du palier ...