

2/ Les eaux gazeuses

LE SYSTÈME CARBONATE est l'ensemble formé par trois types de composés chimiques, qui sont :

- dans l'atmosphère : le gaz carbonique (CO₂) ;
- dans l'eau : les composés de l'acide carbonique :



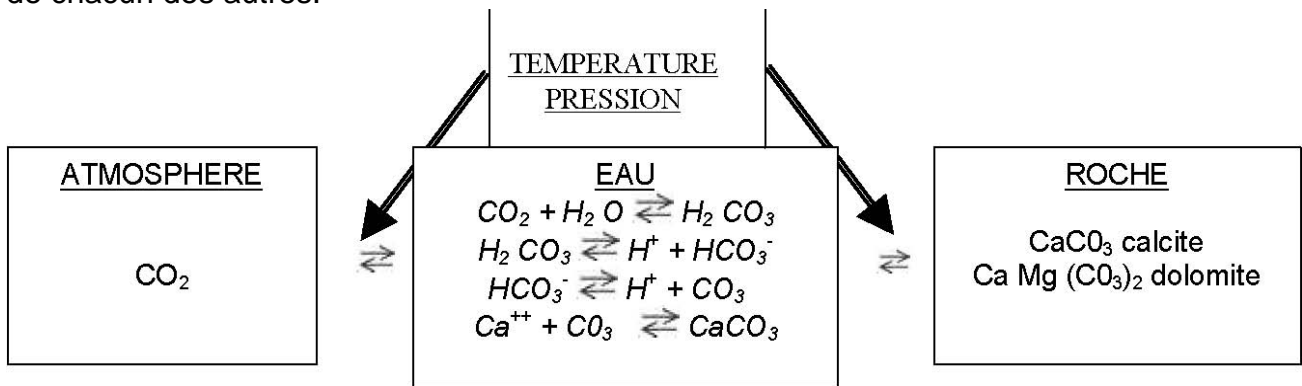
- dans les roches : les minéraux carbonatés (surtout calcite, CaCO₃, et dolomite, Ca Mg (CO₃)₂).

NB : Dans les textes officiels, on utilise généralement le terme hydrogénocarbonates au lieu de bicarbonates.

Ces divers composés sont en relation, comme l'indique la figure ci dessous.

Au contact entre l'eau et l'atmosphère, il peut y avoir dissolution ou dégazage de gaz carbonique.

Au contact entre eau et roches, il peut se produire une dissolution ou une précipitation de calcite - par exemple -. C'est en ce sens que l'on peut définir l'ensemble de ces composés comme un système, puisque toute modification de l'un des termes entraîne des variations de chacun des autres.



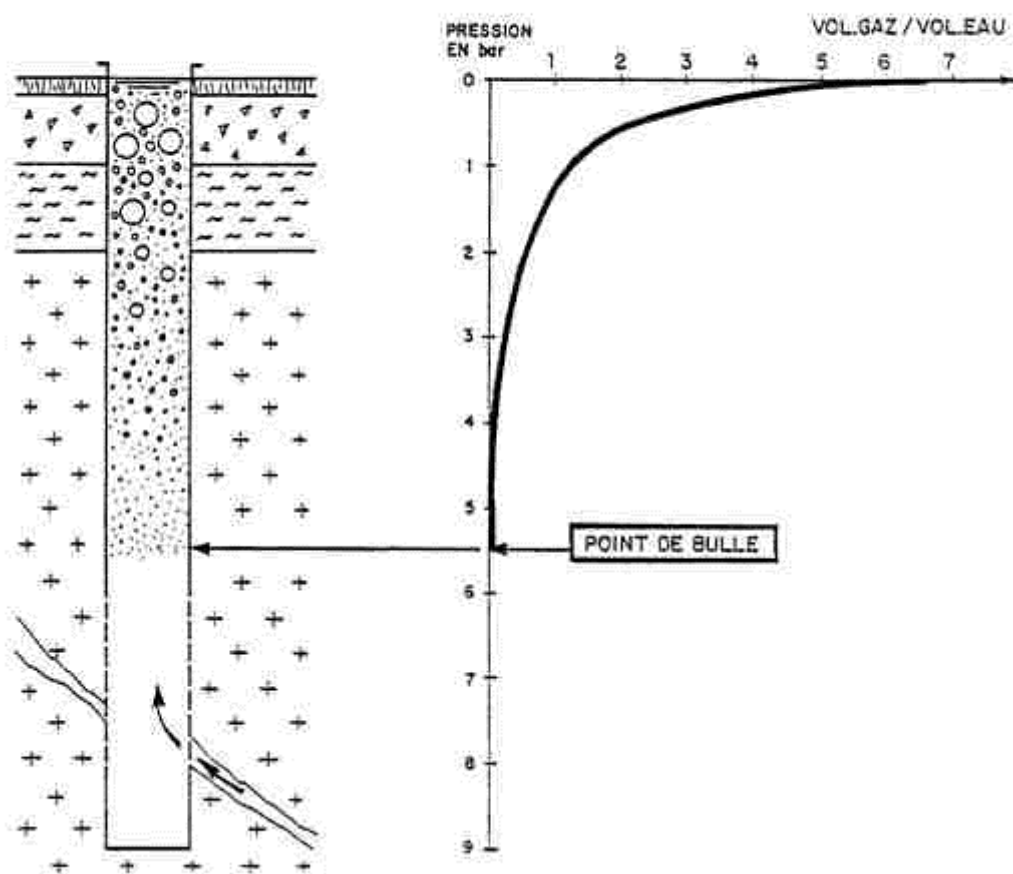
Échanges dans le "système carbonate"

Cet ensemble de réactions, étroitement dépendant des conditions de température et de pression, peut être résumé par la réaction de dissolution de la calcite au contact d'une eau chargée en gaz carbonique.

Les vitesses de dissolution ou de dégazage sont très variables selon le gaz considéré. Le gaz carbonique se dissout dans l'eau pour atteindre un équilibre en quelques heures. D'autres facteurs comme la température, la pression, le pH et la minéralisation de l'eau, influent sur cette cinétique. Les réactions d'échange entre phase gazeuse et phase liquide sont généralement plus lentes que les réactions homogènes en phase liquide.

Des modèles de calcul permettent maintenant de quantifier l'ensemble des phénomènes induits par le dégazage en forage, en ayant au préalable défini les paramètres suivants :

- la composition chimique de l'eau et du gaz à l'émergence
- le débit d'eau et de gaz à l'émergence
- la température de fond de puits et la température à l'émergence.

Exemple de la figure ci dessousCOUPE TECHNIQUEEVOLUTION DU VOLUME GAZEUX

Une telle modélisation réalisée sur une eau minérale gazeuse issue d'un forage de 90 m de profondeur indique une pression de point de bulle de 5,5 bars.

La pression de point de bulle est la valeur de pression à partir de laquelle les premières bulles de gaz vont s'individualiser dans l'eau, à partir de H_2CO_3

Evolution du volume gazeux selon la profondeur :

En deçà de cette pression, de "début de bulle", le volume gazeux va croître jusqu'à atteindre la valeur le caractérisant à la pression atmosphérique.

Le dégagement de gaz correspondant va bouleverser les équilibres initiaux (de fond) du système carbonate en provoquant des variations significatives du pH de l'eau entraînant une variation des concentrations de HCO_3^- et CO_3^{--}

Ces variations vont également entraîner une évolution du comportement de l'eau vis à vis de la calcite.

Dans l'exemple considéré, le dégazage va entraîner une modification de la distribution des espèces carbonatées et l'état de saturation va suivre une évolution matérialisée par l'évolution de son index de saturation: en dessous d'une pression de 3,5 bars, l'eau minérale représentera théoriquement un risque d'entartrage du forage.

Ainsi si ce forage doit être exploité au moyen d'une pompe immergée (et cela vaudrait mieux pour sa préservation) deux conclusions pratiques doivent être tirées :

- la pompe immergée devra être positionnée à une profondeur telle que la pression correspondante soit supérieure à 5,5 bars, de façon à n'aspirer qu'un fluide monophasique. Cette profondeur devra être calculée en fonction du rabattement prévu et des corrections à apporter au gradient de pression, compte tenu de l'effet d'"allègement" lié à la présence de gaz.

- il faudra en principe maintenir une pression de refoulement de 3,5 bars afin d'éviter les problèmes de colmatage et ce jusqu'au point choisi du réseau de surface où la précipitation de CaCO_3 pourra être déclenchée (mise à la pression atmosphérique) et ses inconvénients maîtrisés.

La conclusion la plus importante à tirer est que les eaux minérales gazeuses sont particulièrement complexes et fragiles; elles se présentent dans un état donné, correspondant à certaines conditions hydrogéologiques et physiques, et toutes les données analytiques ou mesures réalisées sur ces eaux doivent être rapportées et évaluées en fonction des conditions dans lesquelles l'échantillon a été prélevé, l'analyse réalisée et la mesure faite.

En l'absence de variation d'autre paramètre tel que la température, on peut résumer que le dégagement de CO_2 caractérisant ces eaux va entraîner une variation du pH de l'eau

- *Pour des dégagements gazeux faibles*, la variation de pH restera faible également et *l'eau peut rester stable* pour l'ensemble de ses éléments caractéristiques ;

- *Si le dégagement gazeux est important*, passé un certain seuil de variation du pH, les équilibres du système carbonate vont se déplacer, affectant de variations les paramètres caractéristiques liés (pH, espèces carbonatées, calcium). *Dans ce cas, seuls les paramètres caractéristiques indépendants du système carbonate pourront être retenus pour témoigner de la constance de la qualité de l'eau considérée.*

Par ailleurs, les analyses réalisées sur une eau minérale gazeuse, en surface, ne peuvent être représentatives de ce qu'est cette eau, en réalité dans le proche sous-sol et a fortiori dans le gisement. Sa composition dans le milieu souterrain ne peut être rapprochée que par le calcul.

Ce fait, indépendamment des phénomènes éventuels de mélanges naturels, contribue à expliquer les écarts très fréquents de composition chimique entre l'eau minérale gazeuse d'une émergence naturelle, et la même eau re-captée par forage.

Ce constat n'est pas sans poser des problèmes dans la pratique, les critères d'appréciation des qualités chimiques de ces eaux et de leur constance doivent être appliqués avec précautions.

LA DEFERRISATION

Dans son application la plus simple, la déferrisation par oxydation à l'air libre consiste à chasser le CO_2 libre de l'eau par brassage mécanique. Ce faisant, l'équilibre carbonique est modifié.

L'eau, en équilibre avec une pression partielle de CO_2 importante dans le sous-sol, va s'équilibrer avec la pression partielle de CO_2 atmosphérique et la pression partielle d'oxygène de l'air.

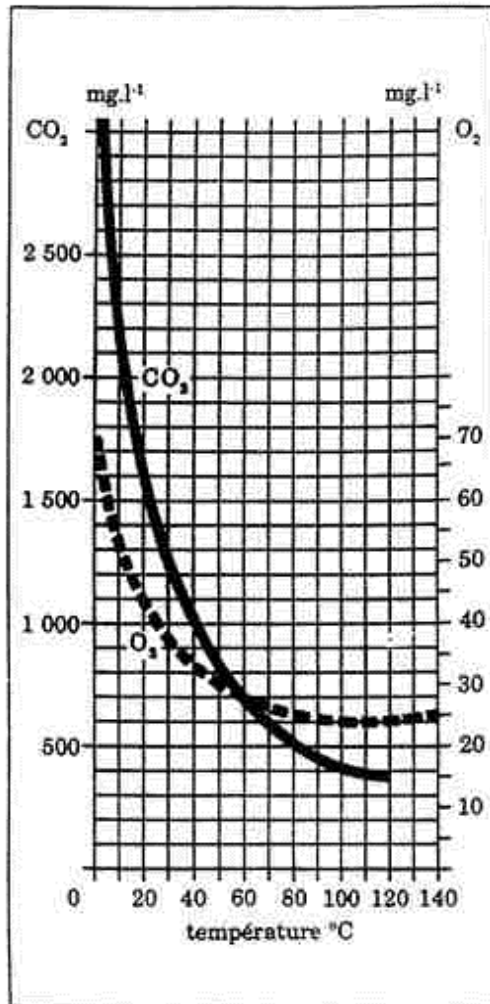
Cet oxygène dissous permettra l'oxydation plus ou moins rapide du fer.

Le dégazage/regazage

Après décantation et élimination par filtration de l'hydroxyde ainsi formé, l'industriel procède à la regazéification à la pression partielle de CO_2 choisie, souvent égale ou

supérieure à la pression partielle de CO_2 à l'émergence, en tenant compte des contraintes réglementaires en termes d'étiquetage.

Cette opération se réalise à des pressions de l'ordre de 1 bar sous atmosphère de CO_2 mais souvent à basse température (4 à 5°C) en profitant de la solubilité accrue du CO_2 (fig. ci dessous).

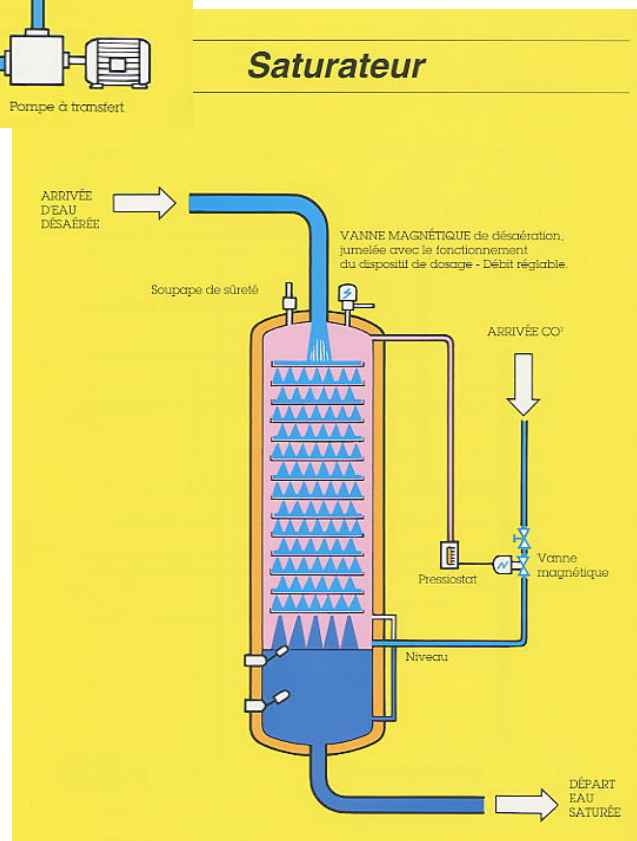
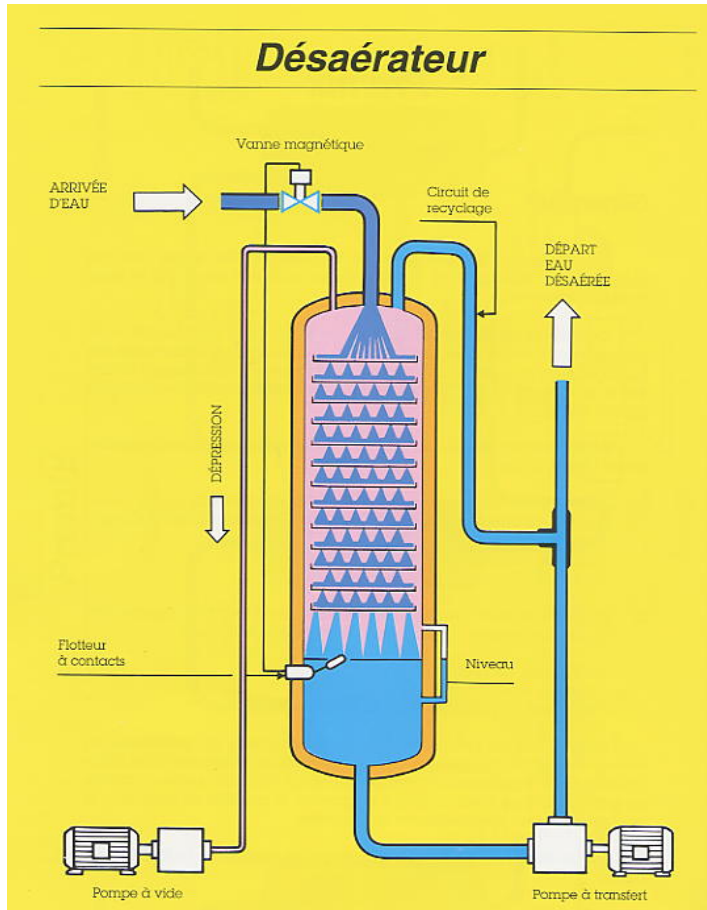


Solubilité de CO_2 et O_2 dans l'eau en mg.l⁻¹ de gaz par litre d'eau à la pression atmosphérique et sous atmosphère de gaz pur.

Les procédés pour carbonater une eau

Une eau plate peut être carbonatée par injection de CO₂ en suivant 2 étapes :

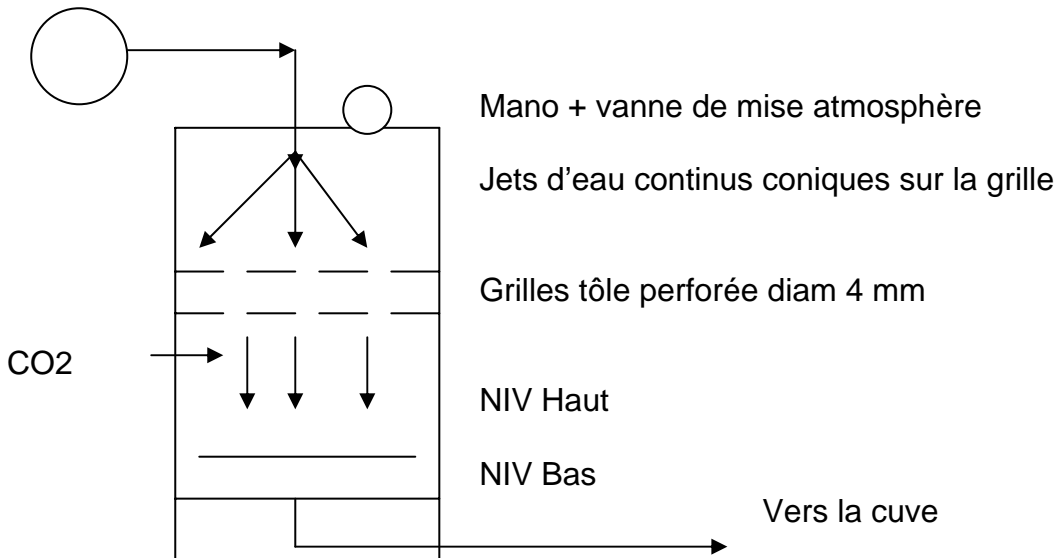
- Désaération par écoulement sur des grilles et des chicanes et une pompe à vide
- Saturation en CO₂ avec un premix.



Exemple d'un petit saturateur d'essai. Il se compose :

- Mise en pression avec ressort d'équilibrage
- 1 thermomètre
- 1 manomètre

Pompe à « queue de cochon » pour délivrer une pression de 3,5 bars (pompe Procon)



Débit 600L/H 4 bars

Eau idéalement à 2°C à maxi 9°C

CO2 : injection 7 g/litre

Possibilité d'injection du sirop : maximum 25% du volume total

La taille des perçages dans la grille modifie la taille des bulles de gaz dans l'eau

Nombre de grammes de CO2 dissous par litre d'eau :

La carbonatation de l'eau très froide consomme moins de CO2

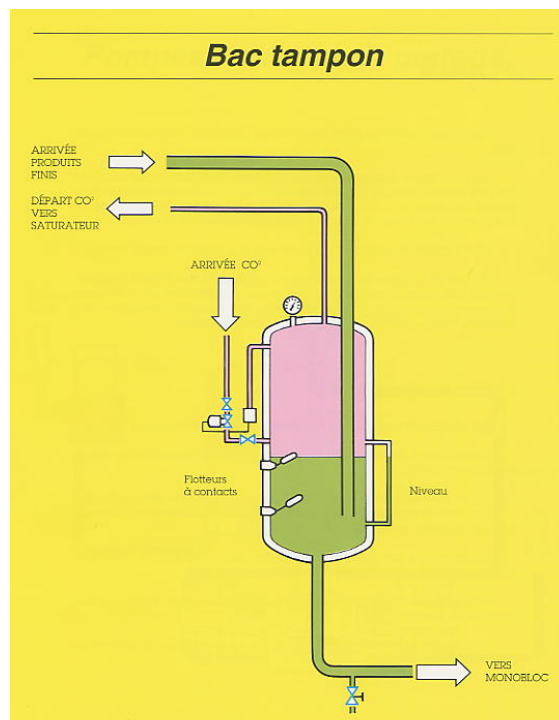
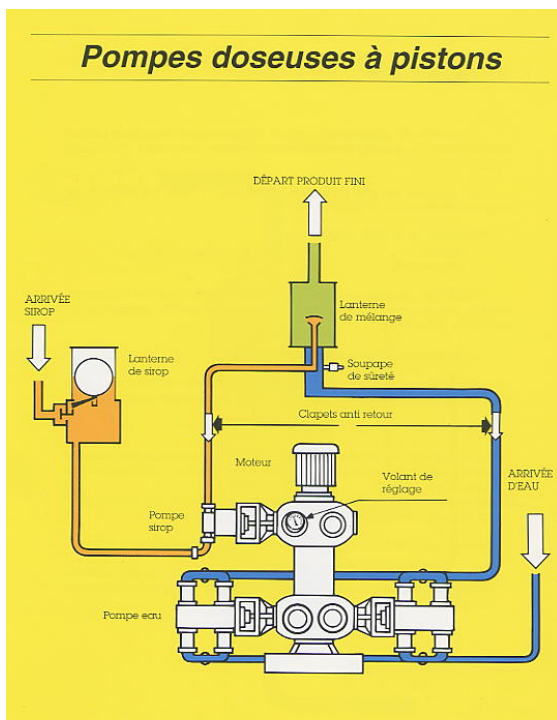
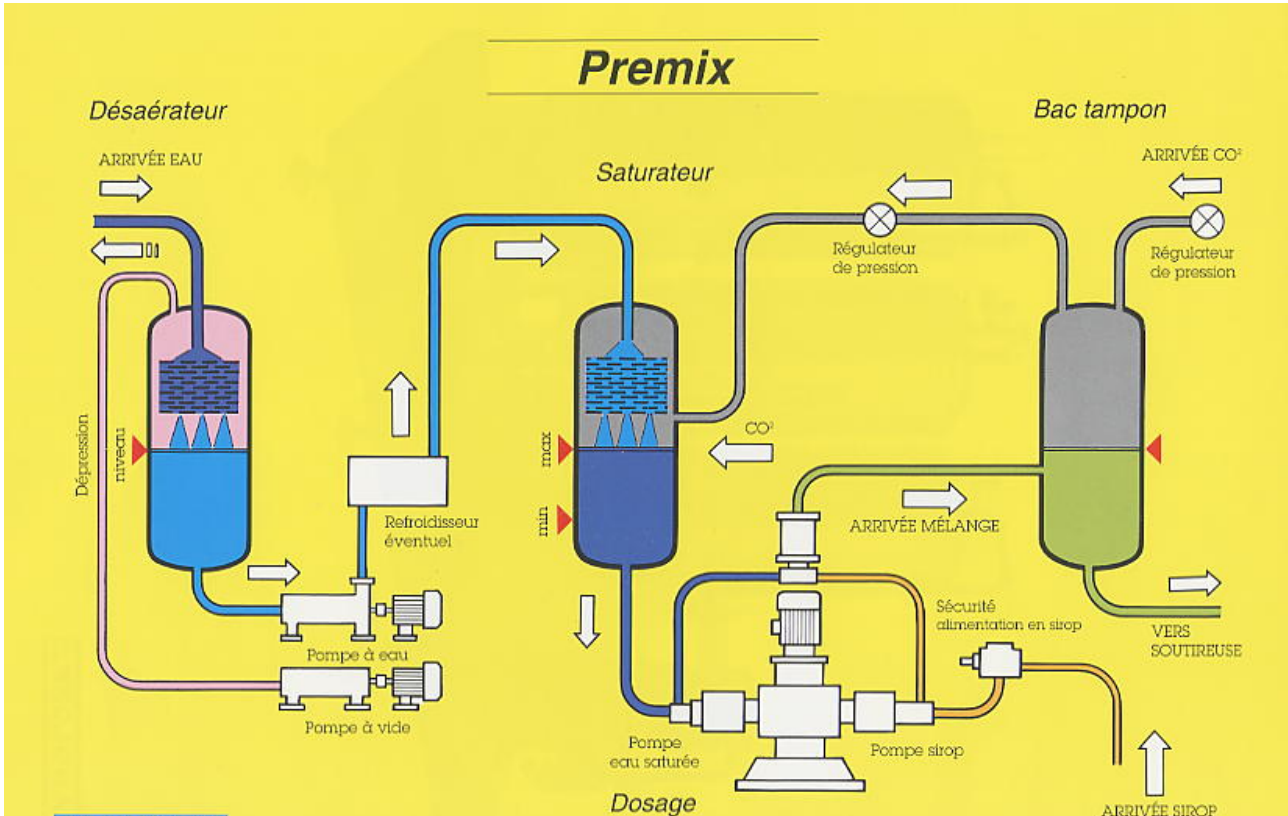
**NOMBRE DE GRAMMES DE CO² DISSOUS
PAR LITRE D'EAU**

Temp. en °C	PRESSION DU MANOMETRE EN KG/CM ²										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	3,55	7,10	10,30	13,45	17,10	20,40	23,20	26,00	29,00	31,75	34,60
1	3,40	6,80	9,80	12,80	16,35	19,50	22,25	24,90	27,85	30,25	33,10
2	3,25	6,50	9,30	12,20	15,60	18,60	21,30	23,80	26,70	28,80	31,60
3	3,10	6,25	8,90	11,60	14,80	17,80	20,45	22,90	25,60	27,60	30,30
4	2,95	6,05	8,50	11,00	14,00	17,00	19,60	22,00	24,50	26,50	29,00
5	2,85	5,80	8,10	10,50	13,40	16,30	18,70	21,00	23,50	25,35	27,70
6	2,75	5,55	7,80	10,00	12,80	15,60	17,80	20,00	22,50	24,20	26,50
7	2,65	5,30	7,45	9,60	12,25	15,00	17,20	19,20	21,60	23,20	25,45
8	2,50	5,00	7,10	9,20	11,70	14,40	16,60	18,40	20,70	22,20	24,40
9	2,40	4,85	6,80	8,85	11,15	13,80	15,85	17,60	19,75	21,20	23,35
10	2,30	4,65	6,50	8,50	10,60	13,20	15,10	16,80	18,80	20,20	22,30
11	2,20	4,50	6,25	8,15	10,15	12,55	14,45	16,00	17,90	19,40	21,30
12	2,10	4,30	6,00	7,80	9,70	11,90	13,80	15,20	17,00	18,60	20,30
13	2,05	4,15	5,80	7,55	9,30	11,35	13,10	14,55	16,20	17,80	19,40
14	2,00	4,00	5,55	7,30	8,90	10,80	12,40	13,90	15,40	17,00	18,50
15	1,95	3,75	5,35	7,05	8,55	10,35	11,85	13,30	14,70	16,30	17,70
16	1,90	3,50	5,15	6,80	8,20	9,90	11,30	12,70	14,00	15,60	16,90
17	1,85	3,40	4,95	6,60	7,90	9,50	10,85	12,15	13,40	14,95	16,20
18	1,80	3,25	4,75	6,25	7,60	9,10	10,40	11,60	12,80	14,30	15,50
19	1,75	3,15	4,60	6,05	7,35	8,75	9,95	11,10	12,15	13,65	14,85
20	1,70	3,05	4,45	5,85	7,10	8,40	9,45	10,60	11,50	13,00	14,20
21	1,68	3,00	4,30	5,75	6,90	8,10	9,15	10,15	11,05	12,40	13,60
22	1,65	2,95	4,15	5,50	6,70	7,75	8,80	9,70	10,60	11,80	13,00
23	1,64	2,90	4,05	5,30	6,45	7,50	8,45	9,35	10,15	11,30	12,40
24	1,63	2,85	3,95	5,10	6,20	7,25	8,10	8,85	9,70	10,80	11,80
25	1,62	2,80	3,90	4,90	6,10	7,05	7,90	8,55	9,35	10,40	11,30
26	1,61	2,75	3,85	4,70	6,00	6,80	7,55	8,20	8,95	10,00	10,75
27	1,60	2,60	3,80	4,65	5,95	6,60	7,35	7,85	8,65	9,60	10,30
28	1,59	2,55	3,75	4,60	5,85	6,40	7,10	7,50	8,30	9,15	9,80

La fabrication industrielle des sodas ou des limonades

Compte tenu du taux de CO₂ injecté dans la boisson pour la carbonater, la pasteurisation d'une limonade n'est pas nécessaire.

Un Premix est utilisé pour aérer l'eau, la saturer de gaz carbonique puis injecter le sirop.
Schéma de fonctionnement :



La sécurité des appareils en pression

Voir le livre

**« GUIDE PRATIQUE TECHNIQUE
POUR UN PROJET AGRO ALIMENTAIRE, COSMETIQUE,
ou PHARMACEUTIQUE »
AUTEUR GILLES MORVAN**