
OPTIMISATION DU SOIN CARBOGAZEUX DANS LES ÉTABLISSEMENTS THERMAUX DU TERRITOIRE DU GRAND DAX AUDIT ET RECOMMANDATIONS

**SÉBASTIEN LABARTHE, KARINE DUBOURG,
JOËL LAGIERE, CÉLINE OHAYON-COURTES***

Résumé

Le process du soin carbogazeux dispensé en phlébologie dans les stations thermales françaises est différent d'un établissement à l'autre. Aussi, un audit a été réalisé afin d'optimiser les réglages de pression des installations pour obtenir une concentration en CO₂ dans le bain de 1300 mg/L, permettant d'assurer une bonne qualité de ce soin. Des solutions techniques ont également été préconisées pour améliorer son suivi, sa sécurité, dans le but de qualifier son fonctionnement et de répondre aux exigences de la certification Aquacert HACCP Thermalisme.

Mots-clefs : Phlébologie, Soins carbogazeux, Process, Pression, Concentration, Sécurité

Abstract

Improvement of carbogaseous healthcare in Grand Dax thermal spas

Carbogaseous healthcare process provided in phlebology in French thermal resort varies by establishment. Also, an audit was carried out to improve pressure settings in installations, in order to obtain a CO₂ concentration of 1300 mg/L in the bath, for ensuring a good quality of care. Technical solutions were also recommended to improve its monitoring, its security, in order to assess its process and to meet Aquacert HAACP Thermalisme certification requirements.

Key words : Phlebology, Carbogaseous care, Process, Pressure, Concentration, Security

* Institut du Thermalisme - Université de Bordeaux, 8 Rue Sainte Ursule, F-40100 Dax,
Courriels : sebastien.labarthe@u-bordeaux.fr, karine.dubourg@u-bordeaux.fr,
joel.lagiere@u-bordeaux.fr, celine.ohayon@u-bordeaux.fr

Introduction

L'eau minérale naturelle de Dax sulfatée, calcique, légèrement chlorurée sodique révèle des vertus thérapeutiques intéressantes en phlébologie, en particulier par le biais de la carbothérapie thermique. Cette eau, carbonatée par le processus carbogazeux, est mise au contact de la peau et va permettre au dioxyde de carbone (CO₂) dissous de diffuser à travers l'épiderme, le derme et l'hypoderme pour ensuite atteindre les fibres musculaires [3,6,8-9,14], les capillaires et les veines [15].

Les recherches fondamentales ont permis d'élucider les mécanismes d'action du CO₂ au niveau de la peau et du système sanguin puis d'en comprendre les effets thérapeutiques. Ce gaz agit sur la régulation physiologique en participant aux mécanismes régulateurs de la respiration, de la circulation et de l'équilibre acido-basique [15]. Le bain en eau carbogazeuse a des effets circulatoires remarquables qui se manifestent par une rubéfaction de la peau immergée et une diminution de la pression sanguine, démontrant ainsi le pouvoir vasodilatateur du CO₂ [1,7,13].

Pendant le bain, le CO₂ agit également sur les thermorécepteurs de la peau en contact avec l'eau carbogazeuse. Il se produit alors à ce niveau une augmentation de la circulation cutanée et de la pression partielle du CO₂ qui assurent un meilleur approvisionnement en oxygène des tissus périphériques [15]. Localisé aux membres inférieurs, le bain en eau carbogazeuse diminue les sensations de froid et de chaud dues à la diminution d'excitabilité des récepteurs froids et à l'augmentation d'excitabilité des récepteurs chauds.

Le soin carbogazeux est indiqué pour des patients souffrant de lourdeurs, de prurits, d'œdèmes, de paresthésies ou encore de thrombose veineuse profonde récente ou ancienne. Il est un moyen de prévention des séquelles de patients opérés de varices par exemple [6].

La réaction d'hyperhémie dépend de la concentration de CO₂ libre dans l'eau (de 400 à 1600 mg/L) et de la température [7]. Le débit circulatoire, contrôlé par la méthode au Laser-Doppler [14], augmente sensiblement avec ces deux paramètres dès la première minute de soin. L'optimisation du processus de carbonatation semble donc primordial.

Les établissements thermaux dacquois utilisent le soin dans des conditions opératoires communes, à savoir : la durée (10 minutes), la température (27 ± 1°C), la hauteur d'eau nécessaire pour immerger les jambes dans le bain (20 cm environ), la vérification de la présence de bulles par l'agent thermal durant le soin. Cependant, la technique de mise en œuvre diffère selon les configurations hydrauliques des réseaux de l'établissement et de ses éléments constitutifs, ainsi que du nombre de bains carbogazeux dispensés simultanément pendant la période de soin. En effet, plusieurs paramètres varient : le nombre de baignoires par établissement, la nature de CO₂ (alimentaire ou médical), la pression de CO₂ utilisée dans la colonne de mélange (ou carbonateur) pouvant atteindre 3 bars, la longueur et le diamètre des canalisations de distribution alimentant les baignoires, etc..., pouvant engendrer une consommation et un coût en CO₂ différent d'un établissement à l'autre.

En outre, les études de toxicité chronique du CO₂ montrent que ce gaz inodore, incolore et plus lourd que l'air (d = 1,53), est toxique à partir de 1 %. À ce pourcentage, il est constaté une légère augmentation des pressions partielles de gaz carbonique et d'oxygène dans les artères en raison d'une hyperventilation (INRS, fiche toxicologique n° 238). Une récente étude expérimentale [12] suggère qu'à partir d'une concentration de 0,1 % dans l'air, le CO₂ a un effet néfaste sur les performances psychomotrices, d'où la sécurité du process du soin à maîtriser dans les établissements thermaux.

Face à ces constats, un audit a été réalisé dans les établissements thermaux de l'agglomération dacquoise (territoire AQUI O Thermes¹) afin d'optimiser et de sécuriser le soin carbogazeux. L'objectif est donc :

- dans un premier temps d'améliorer ce soin afin d'obtenir une concentration en CO₂ libre, dans le bain carbogazeux aux environs de 1300 mg/L (concentration préconisée par le fournisseur du carbonateur Unbescheiden Baden-Baden, Germany), atteinte pour une pression de 1,1 bar dans la colonne de mélange, lors d'essais expérimentaux sur pilote à l'Institut du thermalisme ;
- dans un deuxième temps, de trouver des solutions techniques pour sécuriser les installations et prévenir les risques d'intoxications des personnes exposées au soin (patients et agents thermaux).

Matériels et Méthodes

Dans la majorité des établissements thermaux dacquois, le soin carbogazeux est pratiqué en baignoire d'eau minérale naturelle de Dax enrichie en CO₂ et refroidie à 27 ± 1°C. Le CO₂ stocké en bouteille sous pression (~50 bars) se présente sous forme liquide. Son passage par un réchauffeur puis par un détendeur permet sa transformation à l'état gazeux. Le CO₂ est ensuite injecté dans un carbonateur sous une pression mesurée par un manomètre. L'eau minérale naturelle y est ensuite introduite sous forme de fines gouttelettes afin d'optimiser sa carbonatation. L'eau carbogazeuse obtenue permet d'alimenter une ou plusieurs baignoires selon la configuration du réseau (figure 1).

À partir du process général du soin carbogazeux, une étude personnalisée a été réalisée établissement par établissement en considérant :

L'état de fonctionnement de l'ensemble du process

Il est très disparate d'un établissement à l'autre. Le bon fonctionnement du carbonateur ne peut être effectif que si le manomètre est en bon état de marche. En effet, le matériel est parfois défectueux, ne permettant aucune lecture de pression réelle, l'optimisation du process et l'alerte d'une éventuelle surpression (explosion) devenant impossibles. Cependant, la colonne de mélange est dotée d'une soupape de sécurité qui, si elle est détériorée, peut également entraîner un risque de surpression.

Les mesures des concentrations en CO₂ dans le bain lors d'une campagne d'analyse

Dans chaque établissement, le prélèvement et la mesure du CO₂ (méthode de laboratoire normalisée NF T90-011 [10]) s'effectuent dans la baignoire la plus éloignée du carbonateur.

1 Cluster, association loi 1901 fédérant une activité économique avec un réseau d'acteurs

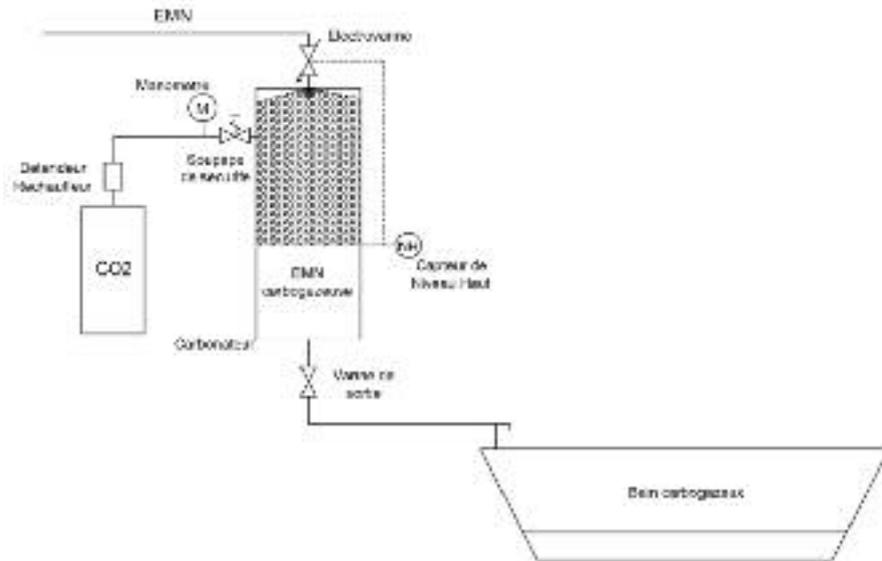


Figure 1 : **Synoptique du process de distribution du soin carbogazeux**

L'anhydride carbonique libre, mis en présence d'un excès d'hydroxyde de sodium et de phénolphthaléine, est titré par une solution d'acide chlorhydrique. Les résultats de cette campagne d'analyses donnent des concentrations en CO₂ dans le bain de 1210 à 1550 mg/L. Les pressions dans le carbonateur qui y sont associées varient de 1,7 à 2,5 bars. La confrontation de ces données aux essais sur pilote démontrent :

- que toutes les pressions utilisées sont largement supérieures à la pression optimale de 1,1 bar obtenue sur pilote,
- que les concentrations en CO₂ dans le bain sont pratiquement toutes supérieures à la concentration cible de 1300 mg/L.

En outre, le personnel technique ne dispose d'aucun indicateur afin de mesurer cette concentration et de mettre en place un suivi qualité du soin. Le réglage se fait donc le plus souvent de manière visuelle et aléatoire, par l'observation du nombre et de la taille des bulles dans le bain. C'est cette absence d'indicateur qui semble entraîner les techniciens thermaux à utiliser leur process en "surpression abusive", et inutile au regard des concentrations souhaitées et efficaces.

Des réglages personnalisés sont effectués pour établir une pression de consigne dans le carbonateur permettant d'avoir une eau contenant 1300 ± 50 mg/L de CO₂ dans le bain.

La consommation annuelle ainsi que le coût en CO₂

Les réglages encouragés par les travaux réalisés établissement par établissement devraient permettre d'engager une baisse des concentrations en CO₂ et par conséquent d'en diminuer les coûts associés.

Les risques potentiels d'intoxication au CO₂

Les symptômes ciblés sont ceux provenant d'une intoxication liée à l'inhalation de CO₂ gazeux, à savoir des difficultés respiratoires, des maux de têtes, des vertiges et dans le cas extrême des pertes de connaissance.

En effet, les symptômes les plus fréquents sont ceux d'une intoxication chronique chez les agents thermaux prenant la forme de maux de tête répétés et de problèmes respiratoires, 8 à 10 h après exposition au soin. Le personnel doit également être capable de reconnaître ces groupes de symptômes chez les patients qu'il encadre, ce qui n'est pas toujours le cas. La méthode utilisée pour identifier ce risque potentiel s'effectue par l'Analyse méthodique des risques (AMR) d'intoxication sur l'ensemble du process de distribution du soin carbogazeux associée à une recherche de causes techniques.

La présence d'un analyseur de CO₂ dans les cabines de soin

Le CO₂ est inodore et incolore et ne peut donc être détecté. L'installation d'un analyseur permettrait une réactivité immédiate dans le cas où la concentration en CO₂ dans l'air serait trop élevée, par le biais d'une alerte visuelle et/ou sonore mais aucun établissement n'en est doté.

La présence de capteurs de niveau bas sur les carbonateurs

L'ensemble des carbonateurs sont dotés d'un capteur de niveau haut stoppant le remplissage en eau thermale (figure 1). En effet, l'augmentation de volume d'eau entraîne une diminution de celui du gaz qui se comprime. Ce capteur permet donc de limiter la phase de compression afin d'éviter une surpression trop importante. Cette compression entraîne l'eau thermale vers le réseau de distribution lors de l'ouverture de la vanne en sortie du carbonateur. Le gaz rentre alors dans une phase de détente jusqu'à atteindre une pression d'équilibre. Elle est atteinte lors de la vidange complète du carbonateur, provoquant l'injection de CO₂ à l'état gazeux dans le réseau de distribution. Afin d'éviter cette vidange, le débit de sortie du carbonateur doit être inférieur à celui du débit d'entrée. La vanne de sortie doit donc être réglée en conséquence ("bridée"). Néanmoins, le réglage de cette vanne de sortie ne suffirait pas à empêcher l'injection de CO₂ dans le réseau de distribution en cas de coupure accidentelle de l'arrivée d'eau thermale. L'installation d'un capteur de niveau bas permettrait d'éliminer ce risque et d'introduire un élément de sécurité supplémentaire. Aucun établissement ne dispose d'un carbonateur équipé de ce système à l'heure actuelle.

Résultats et Discussions

L'état de fonctionnement de l'ensemble du process

Le remplacement systématique des manomètres défectueux a été réalisé afin de permettre les réglages optimaux de pression. Des manomètres d'une amplitude de 0 à 3 bars ont été préconisés pour obtenir un réglage plus précis et une mesure adaptée aux limites de pression du carbonateur (jusqu'à 2,5 bars).

La maîtrise des concentrations en CO₂ dans le bain

Les réglages effectués ont permis une diminution de la plage de pression injectée de [1,7; 2,5] bars à [1,4 ; 2,2] bars, tout en atteignant l'objectif initial de 1300 mg/L dans le bain.

Le réglage le plus significatif a permis une diminution de pression de 0,5 bar, permettant une diminution de la facture en CO₂.

La méthode de laboratoire utilisée pour cette campagne d'analyses reste néanmoins inadaptée à une utilisation de terrain par du personnel technique car elle requiert :

- du matériel de laboratoire,
- du personnel qualifié pour leur manipulation.

Cependant, afin d'établir un suivi qualité du soin et d'améliorer la réactivité en cas de dérive, une méthode de terrain simple et peu coûteuse doit servir d'indicateur. Le choix se porte sur la technique du Carbodoseur, décrite par Poirier et Janny [4]. Le kit est composé d'un thermomètre et d'une éprouvette (figure 2).



Figure 2 : le Carbodoseur

La prise d'essai est injectée dans l'éprouvette qui est fortement agitée. Ainsi la totalité du CO₂ dissous passe en phase gazeuse, entraînant la compression de l'eau qui se détend en s'évacuant hors de la burette par le biais d'un tuyau souple. Ce phénomène entraînant une diminution du volume d'eau permet de mesurer la quantité de CO₂ qui a dégazé. Afin d'adapter à l'eau cette technique développée à l'origine dans le domaine de l'œnologie, un fournisseur de CO₂ médical (Linde AG, Germany) a développé un abaque permettant d'obtenir la concentration en CO₂ dissous dans l'eau (mg/L) en fonction du volume restant dans l'éprouvette (mL) et de la température de la prise d'essai (°C) (figure 3).

L'utilisation de cette technique s'est révélée intéressante. L'analyse ne dure que 2 à 3 minutes, ne nécessite aucun calibrage ni réactif, et peut aisément s'installer en tant que technique d'autocontrôle. L'investissement de départ est faible (de l'ordre d'une centaine d'euros), et le coût d'entretien et de fonctionnement est nul.

V(mL) T(°C)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
82	1205	1185	1151	1117	1083	1050	1016	982	948	915
81	1245	1226	1192	1157	1122	1088	1053	1019	984	949
80	1290	1267	1231	1169	1160	1125	1089	1054	1018	982
79	1330	1307	1271	1235	1198	1162	1125	1089	1053	1016
78	1365	1344	1307	1270	1233	1196	1158	1121	1084	1047
77	1405	1381	1343	1305	1267	1229	1191	1154	1116	1078
76	1440	1417	1379	1340	1302	1263	1224	1186	1147	1109
75	1480	1453	1413	1374	1355	1295	1256	1217	1178	1138
74	1515	1490	1450	1410	1370	1330	1290	1250	1210	1171
73	1550	1524	1483	1443	1402	1361	1321	1280	1240	1199
72	1585	1558	1517	1476	1435	1394	1353	1312	1271	1230
71	1615	1590	1548	1507	1465	1423	1381	1339	1298	1256
70	1650	1625	1583	1541	1498	1456	1414	1371	1329	1287
69	1685	1658	1615	1572	1529	1486	1443	1400	1357	1314
68	1715	1688	1645	1601	1558	1514	1471	1427	1384	1340
67	1750	1721	1677	1633	1590	1546	1502	1458	1414	1370
66	1780	1752	1708	1663	1619	1575	1530	1486	1441	1397
65	1810	1783	1738	1693	1649	1604	1559	1514	1469	1424
64	1845	1816	1771	1725	1680	1635	1590	1545	1499	1454
63	1875	1845	1799	1753	1707	1661	1615	1570	1524	1478

Figure 3 : Extrait de l'abaque développé par Linde AG

La mesure de l'analyse semble peu précise (± 50 mg/L) mais pour une concentration cible de 1300 mg/L, l'erreur ne représente que 3,85 %. Des essais comparatifs ont été effectués par l'Institut du thermalisme et confirment donc un faible écart au regard de la méthode normalisée NF T90-011 (tableau 1).

Pression dans le carbonateur (bars)	0,7	1,7
CO ₂ méthode NF T90-011 (mg/L)	1040	1060
CO ₂ méthode du Carbodoseur (mg/L)	1060	1040
Écart par rapport à la méthode NF T90-011	+ 1,92 %	- 1,89 %

Tableau 1 : Comparaison entre la méthode normalisée NF T90-011 et la méthode du Carbodoseur

L'Analyse méthodique des risques d'intoxication

Cette méthode a permis d'identifier le point le plus critique de l'installation, à savoir le robinet dans la baignoire. En effet, quand il est trop éloigné de la surface de l'eau, la chute du fluide carbogazeux provoque une forte agitation induisant un dégazage plus important.

Ce phénomène est amplifié dans certains établissements par l'installation de poires à jet fins ou de pommeaux de douche, à l'extrémité du robinet. La diminution du diamètre de chaque petite buse augmente le régime turbulent du fluide et favorise le dégazage avec deux impacts négatifs :

- la concentration en CO₂ chute dans l'eau et ne permet plus d'obtenir un soin de qualité, à moins d'augmenter la pression dans le carbonateur,
- le CO₂ est libéré dans l'air de la pièce et à hauteur des voies respiratoires de l'agent thermal et/ou du curiste, et ce d'autant plus si le patient est installé dans la baignoire pendant le remplissage.

Une solution technique simple proposée par l'Institut du thermalisme (figure 4) consiste à installer une canne d'imprégnation en PVC aux critères de conception suivants :

- empêcher un dégazage important en début de remplissage grâce à l'installation d'un coude à 90° en sortie de canne permettant d'obtenir un flux d'eau parallèle à la paroi du fond de la baignoire,
- diminuer le dégazage après le début de remplissage en augmentant la longueur de la canne afin qu'elle soit immergée dans l'eau le plus rapidement possible.



Figure 4 : **Canne d'imprégnation conçue par l'Institut du thermalisme sur pilote**

Des tests sur les concentrations obtenues dans le bain ont été réalisés avec et sans la canne d'imprégnation. Les résultats montrent que l'installation de ce matériel permet l'augmentation de la concentration en CO₂ dans le bain de 30 % pour une pression identique dans le carbonateur.

Bien qu'elle permette la réduction du dégazage du CO₂, l'injection reste néanmoins problématique d'un point de vue sanitaire. Sa conception doit être améliorée afin de prévoir un démontage en plusieurs pièces pour un nettoyage et une désinfection plus efficaces. La rugosité de son matériau constitutif doit également être plus faible afin de limiter le risque de développement d'un biofilm. L'inox 316L semble être une solution satisfaisante mais plus onéreuse.

Certains établissements possèdent déjà une canne d'imprégnation dont l'extrémité, plus élargie que celle conçue par l'Institut du thermalisme, donne également de bons résultats. En effet, l'augmentation du diamètre est un moyen supplémentaire de réduire ce dégazage.

La formation du personnel

Le personnel devra être formé afin de reconnaître les symptômes d'une intoxication liée à l'inhalation du CO₂ gazeux. Il doit intégrer dans sa méthode de travail des gestes simples afin de limiter ce risque notamment :

- en évitant de s'approcher de la surface de l'eau,
- en empêchant le curiste de s'installer dans la baignoire lors des phases de remplissage du bain.

Une formation devrait être intégrée dans le plan hygiène-sécurité-environnement de l'établissement thermal.

L'amélioration de l'aménagement des zones de soin

Lors de son rapport d'expertise collective sur les concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé, l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire, alimentation, environnement, travail) a préconisé la réduction à la source des émissions de polluants dans l'air intérieur en complément de l'amélioration de la ventilation [2]. La quasi-totalité des cabines prodiguant les soins carbogazeux ne possèdent aucun système de ventilation. Le CO₂ étant un gaz plus lourd que l'air, plusieurs recommandations sont émises par l'Institut du thermalisme :

- mettre en place le plus rapidement possible un système de ventilation dans les cabines de soin avec extraction d'air en partie basse,
- installer un bouton d'alarme à portée du curiste pour avertir le personnel en cas d'effets indésirables ressentis et munir les agents thermaux d'un avertisseur sonore portable en cas d'urgence,
- placer le cas échéant un analyseur mural de CO₂ de l'air dont les niveaux d'alertes pourraient être basés sur les données de classement de la qualité de l'air intérieur [2,11].

L'installation de capteurs de niveau bas sur les carbonateurs

La quasi-totalité des rejets de CO₂ gazeux dans les baignoires proviennent d'une coupure accidentelle de l'arrivée d'eau thermique. Un capteur de niveau bas doit être installé. La solution d'une sonde classique immergée dans le carbonateur ne doit pas être retenue : si un piquage ou une soudure est effectuée, le fournisseur ne garantit plus la sécurité de son matériel en cas d'accidents. Les sondes sans contact direct avec le liquide et non intrusifs prennent en compte cette contrainte permettant d'envisager deux solutions :

- Une première consiste à placer une électrovanne asservie à un détecteur de présence de liquide à ultrasons. Ce type de sonde ne se pose que sur des canalisations de petit diamètre extérieur (maximum 50 mm), et donc au départ du réseau de distribution.
- En cas de vidange totale du carbonateur, le détecteur envoie un signal à l'électrovanne NO

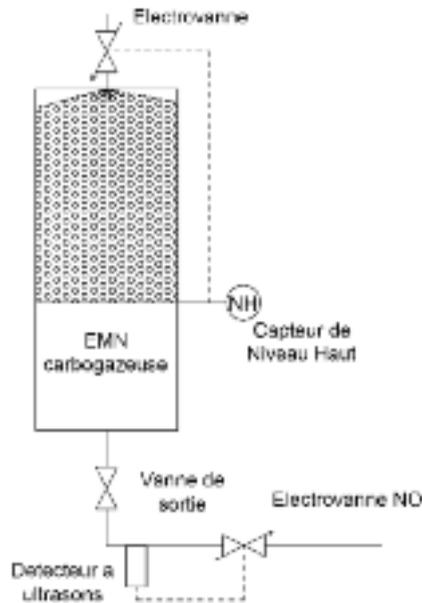


Figure 5 : **Installation d'un système de détection de présence de liquide à ultrason** (Normalement Ouverte) qui coupe l'alimentation vers le réseau de distribution (figure 5).

Une seconde solution serait de placer un détecteur de mesure radiométrique de niveau, adapté aux grands diamètres des cuves, directement sur la surface du carbonateur (figure 6) afin d'assurer en permanence un niveau minimum d'eau dans le carbonateur, évitant tout risque d'injection de CO₂ gazeux dans le réseau.

Ces solutions techniques nécessitent la pose d'une électrovanne dans le réseau de distribution. Leur fonctionnement constitue un risque supplémentaire de surpression dans le cas où elles ne s'ouvriraient plus. Une soupape de sécurité doit donc être installée en amont de l'électrovanne permettant d'évacuer cette surpression du réseau. Le coût de ces améliorations techniques reste non négligeable.

Le choix se porterait d'un point de vue technique sur le détecteur radiométrique de niveau qui évite totalement l'injection de CO₂ gazeux dans le réseau de distribution, alors que le détecteur à ultrasons libère une petite partie du gaz dans la cabine de soin induisant un risque d'intoxication.

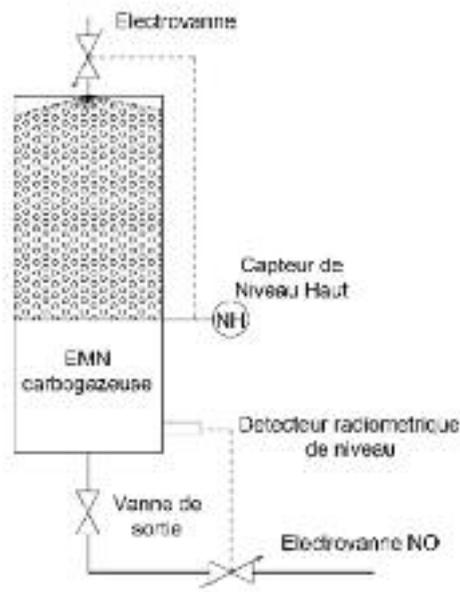


Figure 6 : Installation d'un détecteur radiométrique de niveau

Conclusion et perspectives

Cette étude à long terme a permis de bien comprendre le procédé théorique et technique du process du soin carbogazeux. Ce travail a pu être réalisé grâce à une collaboration entre l'équipe de recherche de l'Institut du thermalisme accompagnée de ses étudiants et grâce au soutien financier du cluster AQUI O Thermes sans qui l'étude n'aurait pu aboutir. Le fonctionnement du soin a été amélioré, et des actions préventives et correctives ont été recommandées afin de sécuriser les installations et prévenir le risque d'intoxication chez les personnes exposées. Cette étude peut également servir de base pour qualifier le process de chaque installation de soin carbogazeux, ce qui est indispensable pour atteindre les exigences de la certification Aquacert HACCP Thermalisme.

Bibliographie

1. Ambrosi C, Delanoe G, Action thérapeutique du CO₂ naturel injecté sous la peau dans les artériopathies des membres. Étude expérimentale. *Ann Cardiol Angeiol* 1976;25(2):93-8.
2. Anses. Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Juillet 2013. Édition scientifique. Saisine n° "2012-SA-0093".
3. Bedu M, Cheynel J, Gascard JP, Coudert J. Transcutaneous CO₂ diffusion : compa-

- risson between CO₂ spa water and dry gas in Royat thermal spa. In : Stano A, Novo S, eds. *Advances in Vascular pathology* 1989:1109-14.
4. Bonder C, Silvestre R. *Pratiquer les contrôles analytiques en œnologie*. Educagri éditions, 2005, 203 p.
 5. Bulletin général de thérapeutique médicale, chirurgicale, obstétricale et pharmaceutique. Volumes 181 à 182.
 6. Coudert J, Bedu M, Cheynel J, Savin E, Martineaud JP. Effets vasculaires de la diffusion transcutanée du dioxyde de carbone d'origine thermale. *Press Therm Climat* 1991;128(3):110-4.
 7. Hartmann Bernd R, Bassenge FE, Hartmann M. Effects of serial percutaneous application of carbon dioxide in intermittent claudication : results of a controlled trial. *Angiology* 1997;48(11):957-63.
 8. Komoto Y, Nakao T, Sunukawa M et al. Elevation of tissue PO₂ with improvement of tissue perfusion by tropically applied CO₂. *Adv Exp Med Biol* 1985;222:637-45.
 9. Lecomte J, Namur M, Juchmes J. Propriétés physiologiques du bain carbo-gazeux de Spa, bain local et CO₂ sec. *Rev Med Liège* 1975;30:657-65.
 10. Norme AFNOR NF T90-011 Février 2001. Qualité de l'eau - Dosage du dioxyde de carbone dissous.
 11. Norme AFNOR NF EN 13779 Juillet 2007. Ventilation dans les bâtiments non résidentiels - Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de conditionnement d'air.
 12. Satish, Usha; Mendell, Mark J; Shekhar, Krishnamurthy; Hotchi, Toshifumi; Sullivan, Douglas; et al. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environmental Health Perspectives* 120.12 (Dec 2012): 1671-7.
 13. Savin E, Bailliard O, Bonnin P et al. Vasomotor effects of transcutaneous CO₂ in stage II peripheral occlusivearterial disease. *Angiology* 1995;46:785-91.
 14. Schnizer W, Erdl R, Schöps et al. The effects of external CO₂ application in human skin microcirculation investigated by laser Doppler flux flowmeter. *Int j Mic rocirc Clin Exp* 1985;38:343-50.
 15. The International college of carbon dioxyde sciences, Fribourg en Brisgau (Allemagne), 12 janvier 1997 ; la Chaîne carbothermale européenne, Royat (France), 23 juin 1997 ; the Society of study of artificial carbon acid springs at Yamanashi (Japon), 17 avril 1998.