

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

TD 6 : HAZOP

UV TS01

Resp : christophe.proust@utc.fr

donnons un sens à l'innovation



Rappels

Mots guides

- **TROP DE** excès d'un paramètre (débit, pression, température, viscosité,...)
- **PAS DE** absence du paramètre désiré
- **INVERSION DE SENS**
- **MOINS DE (PAS ASSEZ de)** insuffisance d'un paramètre
- **EN PLUS** présence intempestive (phase : vapeur, solide,... impuretés, eau, air,...)
- **AUTRES** démarrage intempestif, arrêt, fonctionnement trop rapide, trop lent,....

Principe de la démarche HAZOP

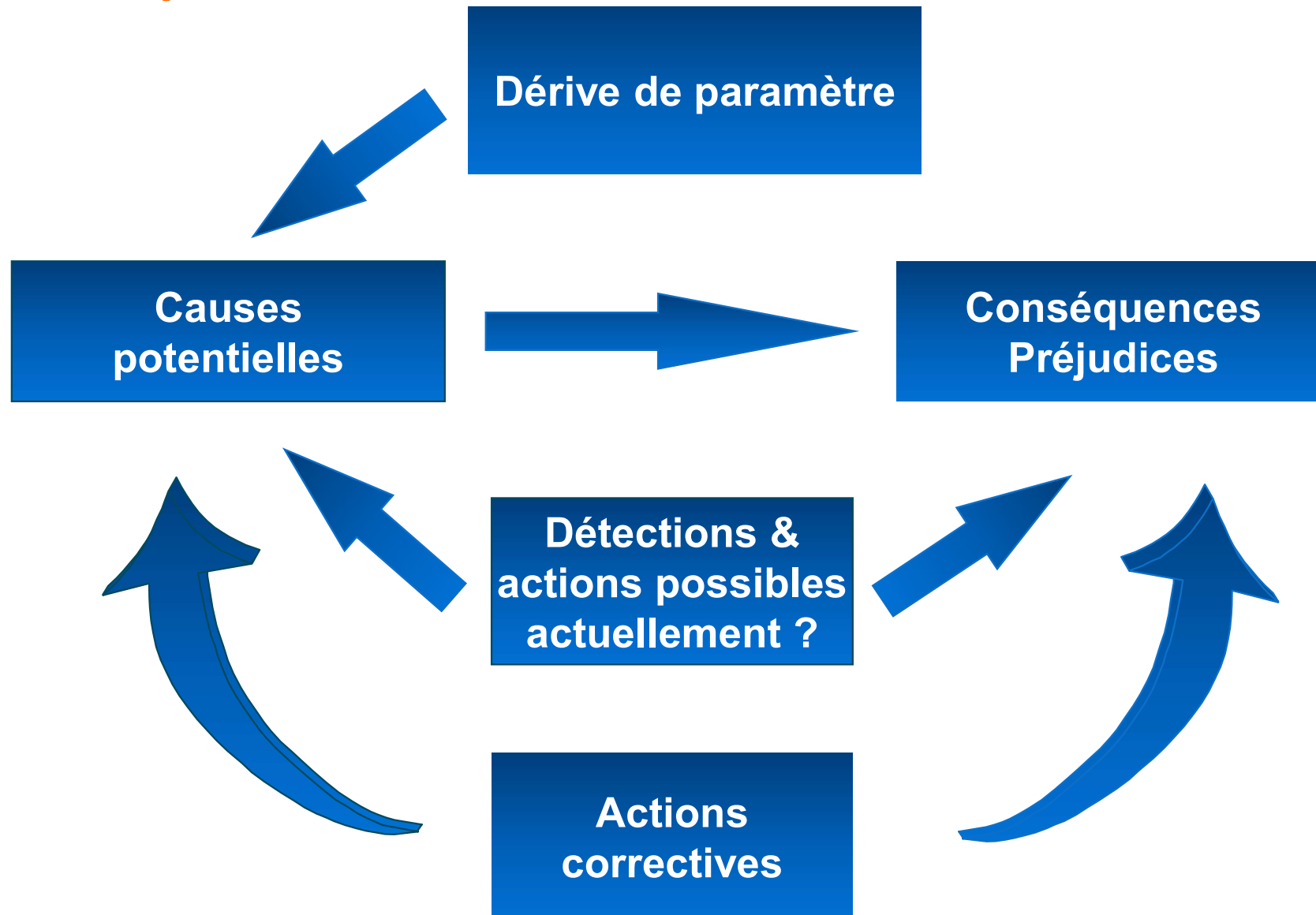


Tableau HAZOP

–Phase :

–Point du circuit :

REPERE	DERIVE	CAUSES POSSIBLES	CONSEQUENCES	MOYENS DE DETECTION	ACTIONS CORRECTIVES	REMARQUES
				Existants		

Possibles en fonction :

- des installations
- des procédures existantes

Commentaires

La méthode hazop est une forme d'étude de sensibilité du fonctionnement d'une brique technologique d'un système. De ce point de vue, c'est une méthode qualitative qui teste la résilience d'un système aux dérives.

Comme toute étude de sensibilité on choisit un paramètre d'entrée que l'on fait varier autour de son point de fonctionnement et on observe l'évolution des paramètres de sortie. On conçoit que cette façon de faire permet de vérifier que le système est bien régulé. Mais on comprend aussi que, dans le cas particulier des risques, la situation qui consiste à ne faire varier qu'un seul paramètre en maintenant tout le reste parfaitement fonctionnel ne correspond absolument pas à des situations d'accident.

Mais on comprend aussi et que si le système étudié n'est pas capable de rattraper des déviations des paramètres d'entrée il s'avérera très vulnérable à des accidents. En fait, la méthode hazop peut être utilisée pour identifier des scénarios d'accident, la manière dont un accident pourrait se dérouler sur le système étudié.

En raison de ces limites, il est conseillé de compléter la méthode par des techniques propres à l'étude des accidents comme la méthode des arbres.

Commentaires

La méthode HAZOP est une méthode inductive en ce que d'une variation d'une cause on déduit une conséquence et non l'inverse. Elle a été formalisée dans une norme internationale qui définit le mode de variation de l'entrée d'un système (MOT-GUIDE), l'entrée étant ici un des PARAMETRES de fonctionnement comme la pression le débit.. Comme expliqué dans le cours la DERIVE décrite par l'association d'un mot guide et d'un paramètre est un moyen de susciter la réflexion, l'objectif étant de trouver les causes de cette dérive et de déduire les conséquences de chacune des causes de façon, si nécessaire, à trouver des parades. On a donné l'exemple du lève-vitre électrique dans le cours. Les colonnes causes et conséquences de la dérive dans le tableau HAZOP permettent de consigner cette analyse.

Il peut s'avérer que la dérive n'a pas de conséquence sur le fonctionnement du système mais le plus souvent il y a lieu de compenser. Pour cela le système doit pouvoir détecter la dérive et posséder les moyens de la corriger, c'est par exemple l'objectif d'un régulateur. Dans le tableau HAZOP on trouve 2 colonnes consacrées d'une part au moyen de détection et d'autre part aux actions de correction. Dans ces 2 colonnes on note si il y a moyen de détecter la dérive avec l'instrumentation du système où par son pilotage et si c'est le cas ce qu'il fait il y a lieu de faire.

Commentaires

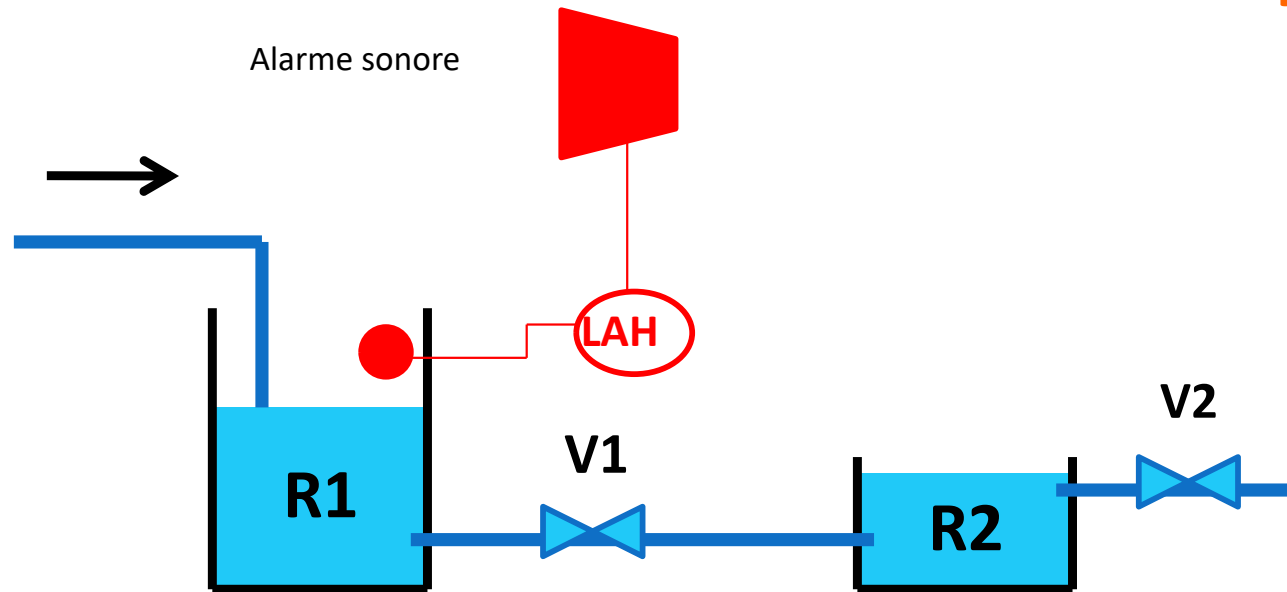
Soit ce qui est noté est effectivement prévu dans les procédures d'usage du système soit ce n'est pas le cas et on en fait la remarque. S'il n'y a pas de moyens de détection alors il n'y a pas d'action corrective et on mentionne dans la colonne remarque ce qu'il faudrait faire. Dans la colonne remarque on peut aussi mentionner ses états d'âme par exemple lorsqu'on a un doute sur les conséquences exactes d'une cause.

Il paraît relativement évident que tout ce qui fait l'objet d'une remarque doit faire l'objet aussi d'une action. Pour s'y retrouver aisément on construit un 2nd tableau (non présenté ici) qui répertorie ces remarques en les associant à une référence présente dans la première colonne du tableau pour qu'on puisse s'y référer et mieux comprendre la remarque.

Déroulé de la méthode

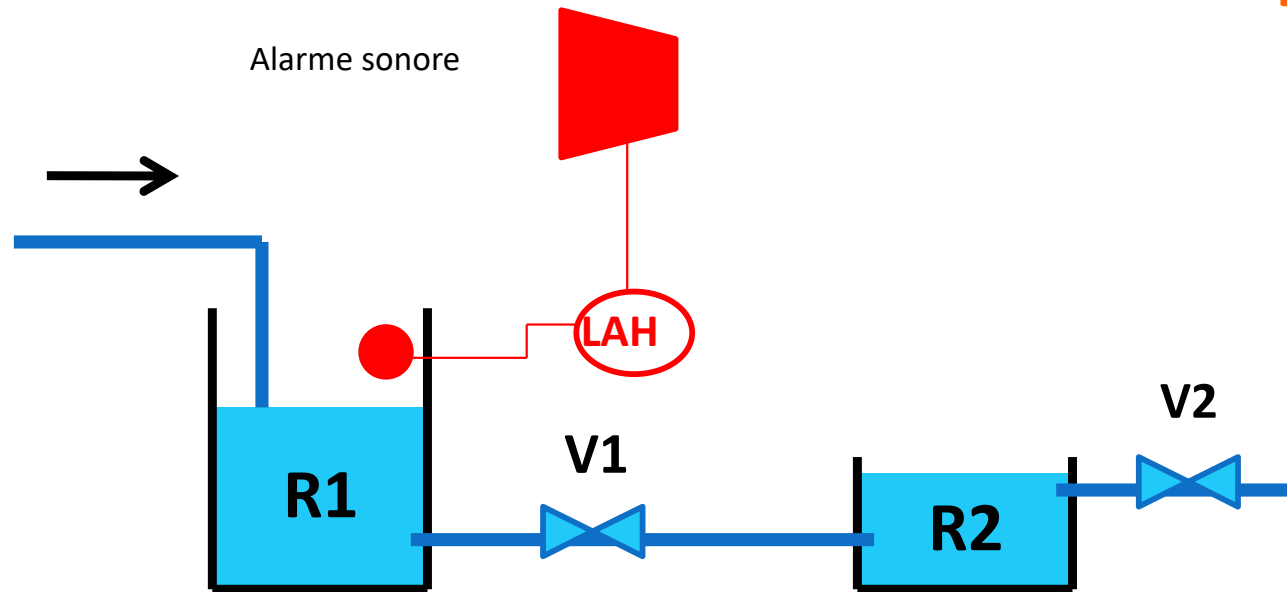
Ex 1 : les baignoires....

Maintien d'une alimentation liquide



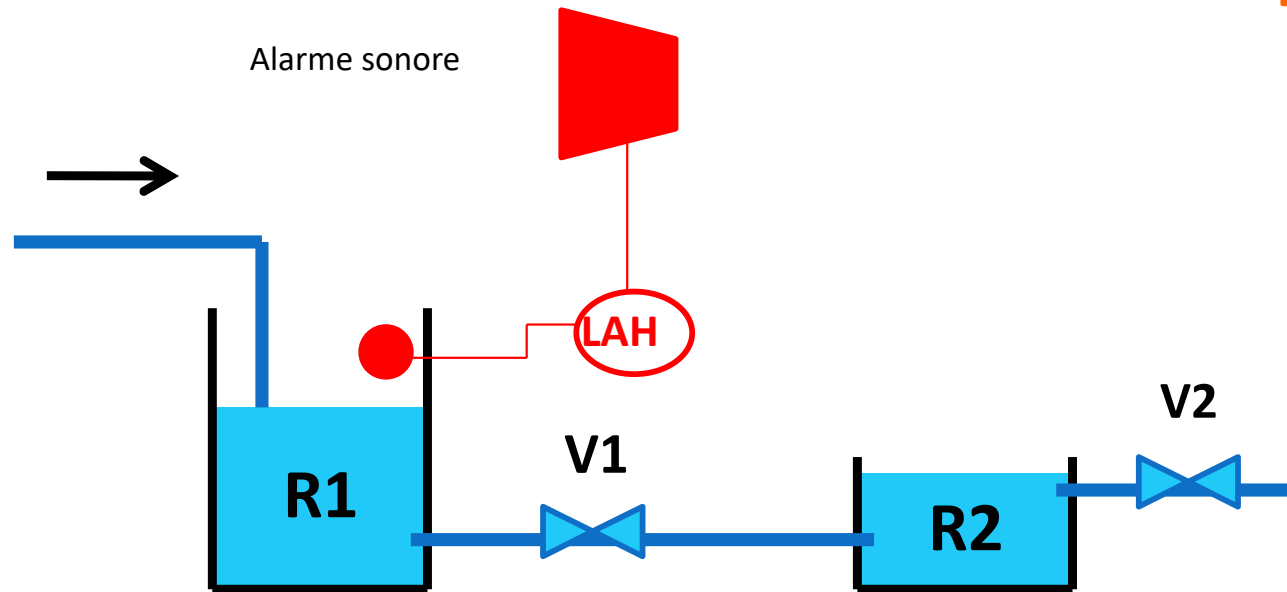
- R1 est un bac d'alimentation d'une usine, probablement très grand, connecté à un second bac R2 situé assez loin (de type décanteur ou siphon), beaucoup plus petit, et qui alimente un procédé en aval. Ce sont des bacs ouverts. Il y a deux vannes de sectionnement manuelles, ouvertes en fonctionnement normal). R1 est alimenté normalement en continu et est équipé d'un détecteur de niveau haut (LAH) relié à une alarme sonore. On suppose que son déclenchement provoque une action d'un opérateur).

Maintien d'une alimentation liquide

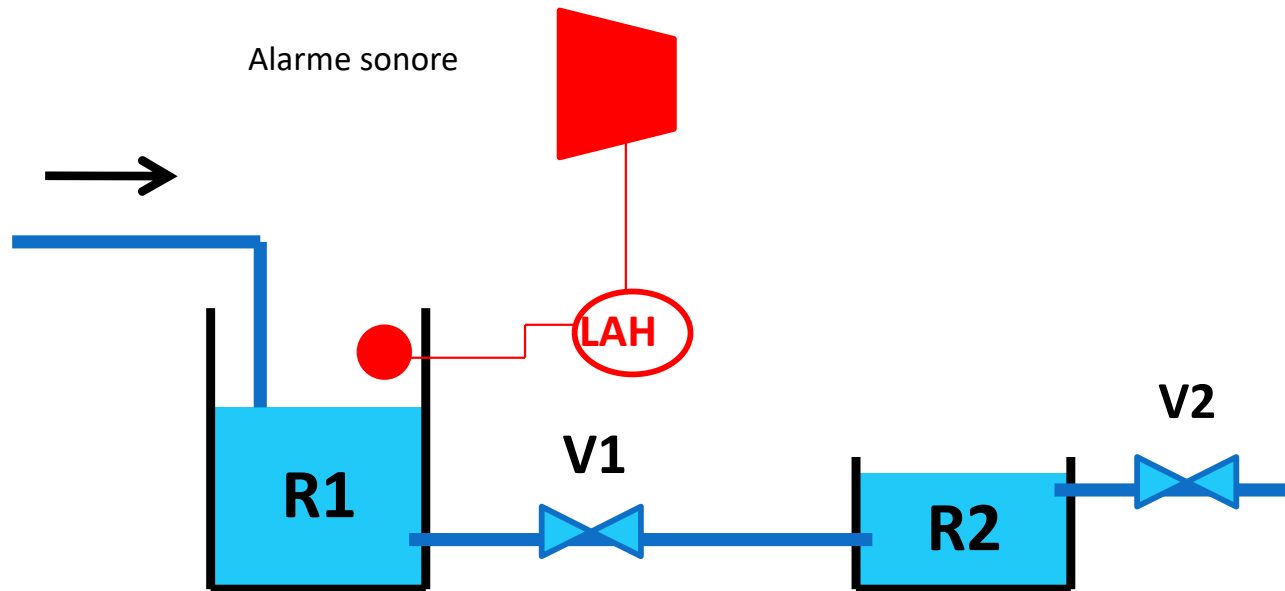


- Paramètres de fonctionnement et dérives ?
 - ...
- LAH ?
 - Le détecteur est-il bien placé ?
 - Sinon que proposez-vous ?

Maintien d'une alimentation liquide

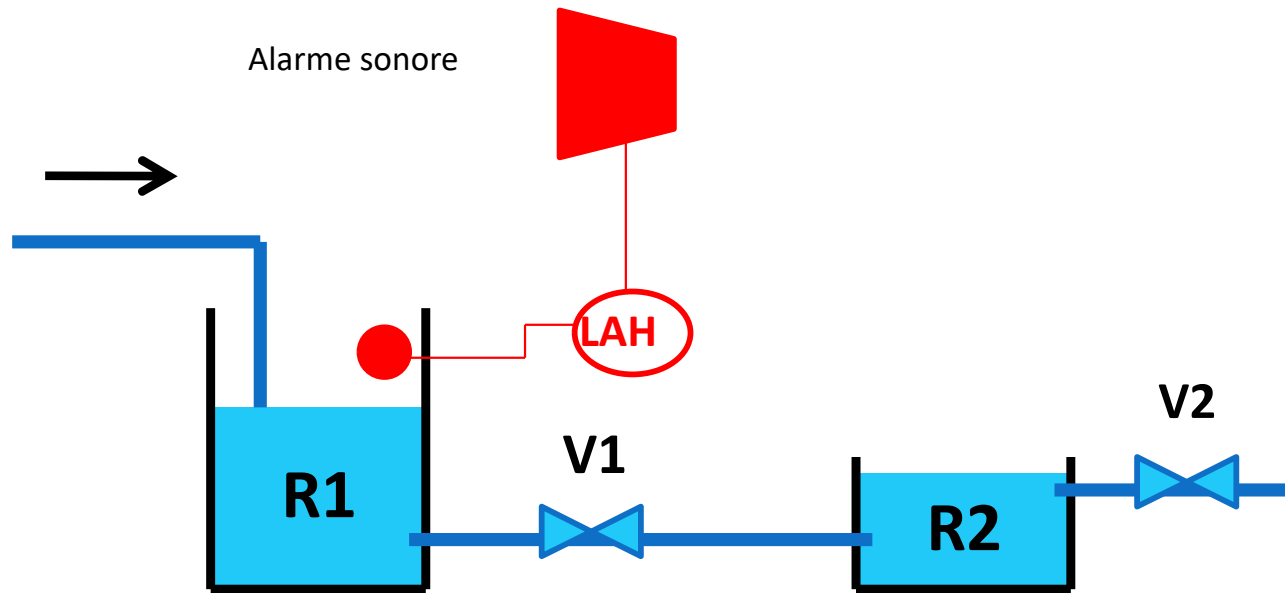


- Paramètres de fonctionnement et dérives?
 - L'objectif est de maintenir une alimentation liquide en aval de V2. Pour cela, une condition nécessaire est que le niveau dans R1 soit suffisant (au moins au niveau de V2. Le premier paramètre de fonctionnement est donc le niveau dans R1. On pourra en trouver un second qui est le débit d'alimentation de R1, dont dépend le niveau. En principe, on devrait donc étudier les dérives de ces deux paramètres. Mais on se concentre sur « niveau dans R1 ».
 - Pour ce paramètre « niveau », les mots guides TROP DE et PAS ASSEZ DE s'appliquent mais aussi PAS DE pour décrire un assèchement. Les autres mots guides ne sont pas applicables.



Trop de niveau ?

Mot guide	Dérive	Causes possibles	Conséquences	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
Trop de	Trop de niveau	Débit entrant trop élevé	Débordement de R2	Aucun	Aucune (car pas moyen de détection/pas jugé critique ?)	Est-ce critique ? Si oui, baisser LAH sous seuil de débordement de R2 ou détecteur LAH ds R2 aussi
		Vanne V1 fermée	Montée jusqu'au détecteur	Alarme par LAH	Arrêt du débit entrant	Procédure de vidange progressive de R1 pour éviter « coup de bélier » en aval
		Obstruction entre R1 et R2	idem	idem	idem	Procédure de désobstruction
		Vanne V2 fermée	Débordement de R2	Aucun	Aucune	Est-ce critique ? Si oui, baisser LAH sous seuil de débordement de R2 ou détecteur LAH ds R2 aussi
		Obstruction en aval de R2	idem	idem	idem	



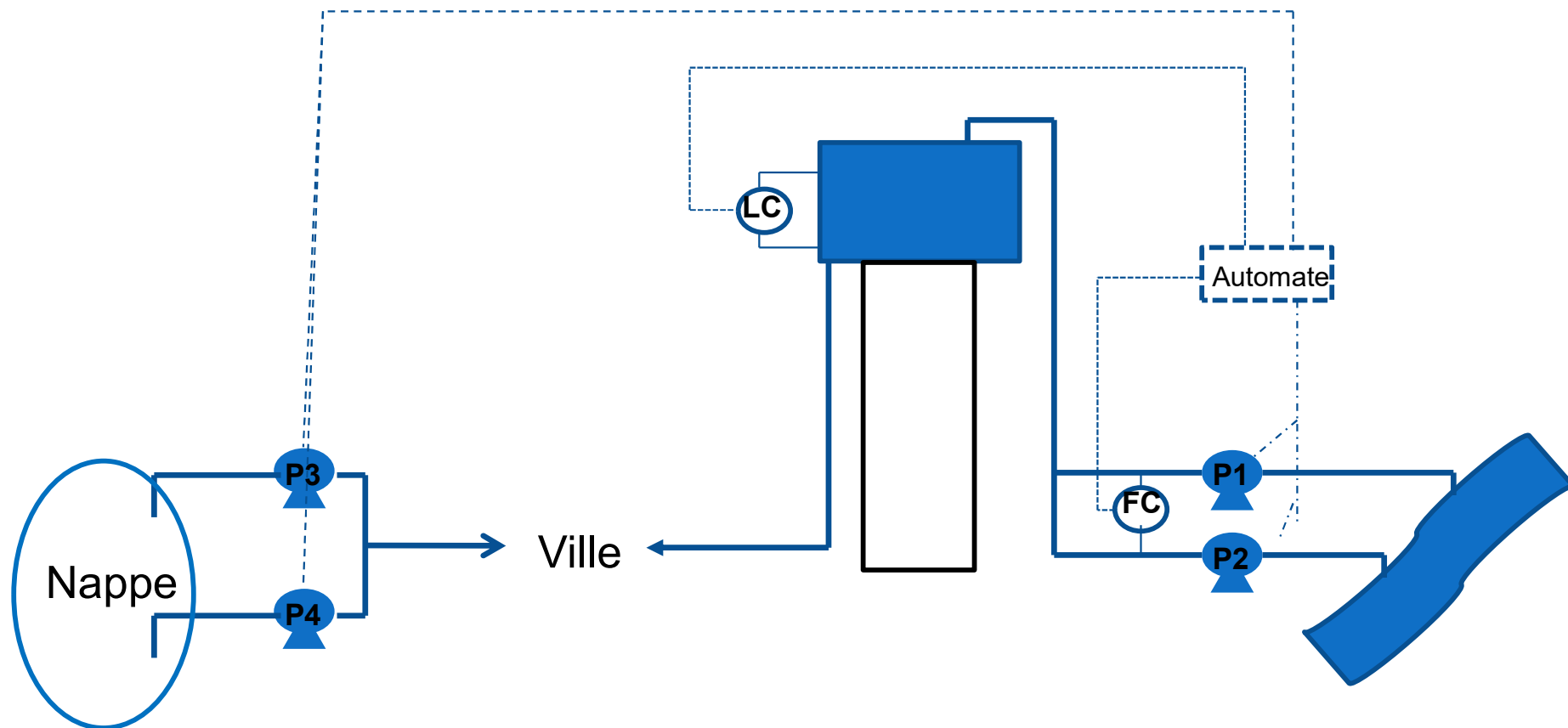
Pas assez de niveau ?

Mot guide	Dérive	Causes possibles	Conséquences	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
Pas assez de	Pas assez de niveau	Pas assez de débit entrant	Baisse du débit sortant de R2	Aucun	Aucune	Dans quelle mesure est-ce un Pb ? (Pb assurément si arrêt du débit aval-> cf dérive suivante)
		Pas de débit entrant	Arrêt du débit en sortie de R2	Aucun	Aucune	Mettre en place des débitmètres et procédure de sauvegarde
		Fuite du réservoir R1 (fuite massive compte tenu de sa taille)	Vidange de R1 et inversion de sens du débit à partir de R2 (vidange de R2)	Aucun	Aucune	Alarme niveau bas et Clapet anti retour entre R1 et R2

On constate qu'une étude plus complète serait nécessaire car il apparaît des termes comme « pas assez de débit entrant », « inversion de débit », « pas de débit sortant ». Pour faire cela, on découperait l'installation en plusieurs parties et au minimum une brique comportant R2 et V2 et une 2nde brique comportant R1 un et V1.

Exemple plus complet

Ex 2 : le château d'eau



Les châteaux d'eau

Ces ouvrages deviennent rares mais ils subsistent notamment dans les régions reculées. Ce sont des systèmes robustes, fiables mais vulnérables.

Il sert à maintenir une pression d'eau constante pour les usages sociétaux. Le principe est de disposer un réservoir (atmosphérique donc en contact avec l'air externe) en altitude et de maintenir rempli en toutes circonstances. Le niveau d'eau est contrôlé (LC, capteur de pression différentielle par exemple) et un automate pilote les pompes P₁ et P₂ en régulant leur débit (FC) en fonction du niveau et sans doute de la demande (régulateur PID ?). En fonctionnement habituel une seule pompe fonctionne (P₁). La seconde (P₂) est là pour doubler la première en cas de forte demande où de maintenance de P₁.

Il se peut que la source habituelle d'eau (une source ou une rivière ici) ne puisse plus être employée ou que le château d'eau doive être maintenu. Il faut cependant assurer le service et dans ce cas, ponctuellement, on pompe directement dans une nappe phréatique profonde (habituellement préservée) sans passer par le château d'eau. L'automate active alors P₃ et P₄ en lieu et place de P₁ et P₂.

Le fonctionnement normal est celui par P₁ et le paramètre à surveiller est évidemment le **niveau**. Les mots-guides seraient alors **TROP DE** et **PAS ASSEZ DE** (voire PAS DE). Ce niveau est surveillé au moyen du capteur LC par exemple une sonde de pression différentielle. Le niveau nominal peut sans doute être autorisé à varier sans que les réglages (des pompes) changent mais dans des proportions limitées.

On pourrait comme dans l'exercice précédent aussi travailler les débits mais on arrive à s'en sortir sans en passer par là.

Mot guide	Dérive	Causes possibles	Conséquences	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
TROP de	Trop de niveau	Défaut de la pompe P ₁ qui accélère toute seule	Augmentation jusqu'à débordement du château d'eau	LC	Instruction à l'automate d'arrêter l'alim. électrique de P ₁	Situation anormale: mettre en place un seuil d'alerte chez le superviseur et procédure d'intervention
		Démarrage intempestif de P ₂	idem	LC	Idem	Idem
		Défaillance débitmètre FC qui sous estime le débit	idem + déclenchement Pompes P ₂ voire P ₃ &P ₄ (trop de débit en ville?)	LC	Idem	Idem
		Défaillance de l'automate (perte des infos LC ou FC, court-circuit des sorties,..)	idem + déclenchement Pompes P ₂ , P ₃ &P ₄ ? (trop de débit en ville?)	LC	??	Alerter le superviseur sur seuil LC. Mode commun de défaillance-> à étudier
		Mauvaise régulation du niveau par LC (niveau trop bas par rapport à la réalité)	idem + déclenchement Pompes P ₂ voire P ₃ &P ₄ (trop de débit en ville?)	?	?	Disposer d'un capteur d'alerte différent de LC (ou redondant) pour prévenir superviseur et couper l'alim. de P ₁ .
		Tuyauterie aval « non passante » (obstruée ?)	Augmentation du niveau	LC	Régulation normale par automate	

PAS ASSEZ DE débit sortant

TROP DE débit entrant

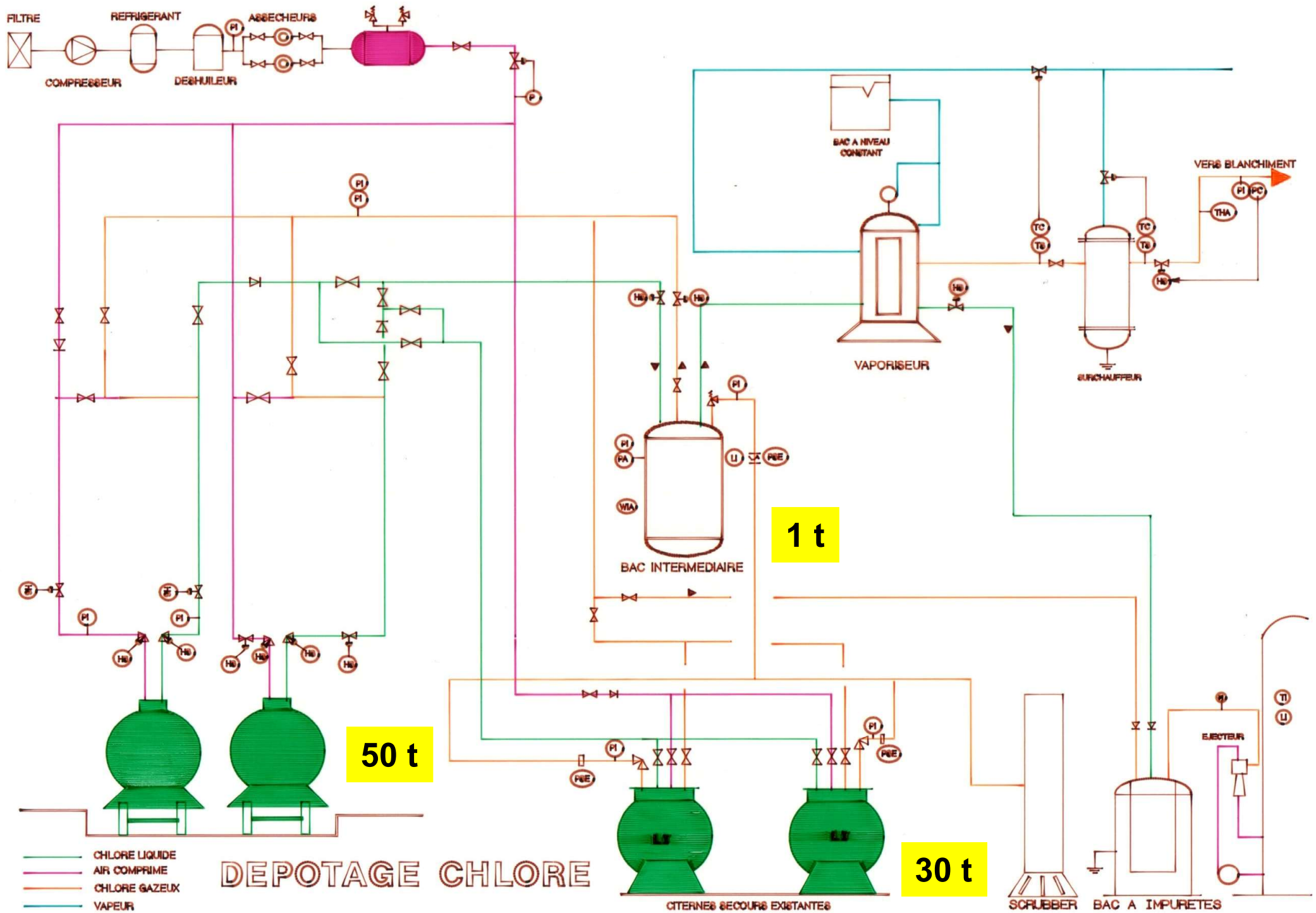
Mot guide	Dérive	Causes possibles	Conséquences	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
Pas assez de	Pas assez de niveau	défaillance P1	Niveau baisse (jusqu'à l'assèchement ?)	LC	Démarrage P2	
		défaillance FC	idem	LC	Démarrage P3&P4	
		refus démarrage P2 sur demande ou arrêt intempestif P2	idem	LC	Démarrage P3&P4	
		Fuite tuyauterie entrée	Idem	LC	Démarrage P2 P3&P4	
		Noyage P1/P2 (inondation) ou niveau trop bas dans la source	Idem	LC	Démarrage P3&P4	
		Défaillance de LC qui « voit » un niveau normal	Idem	?		Mettre en place capteur niveau bas alarme (redondance LC) chez le superviseur+ procédure d'intervention
		Défaillance de l'automate	Idem	LC		Idem (situation anormale)
		Fuite sur le réservoir ou tuyauterie de sortie	Idem	LC	Démarrage P2 P3&P4	Idem (situation anormale)
		Demande trop forte	Idem	LC	Démarrage P3&P4	

Exemple réel

Ex 3 : dépotage de chlore

Le chlore

- Gaz de couleur jaune verdâtre, plus lourd que l'air, d'odeur piquante et suffocante, largement utilisé en chimie des plastiques, industrie textile (décolorant), médical-pharmacie (désinfection),...
- Gaz extrêmement toxique
- Le chlore humide corrode la plupart des métaux
- Oxydant puissant => Risque d'incendie :
 - Spontané des matières organiques (graisses, huiles,...)
 - Au delà de 120° C, peut provoquer l'inflammation des métaux



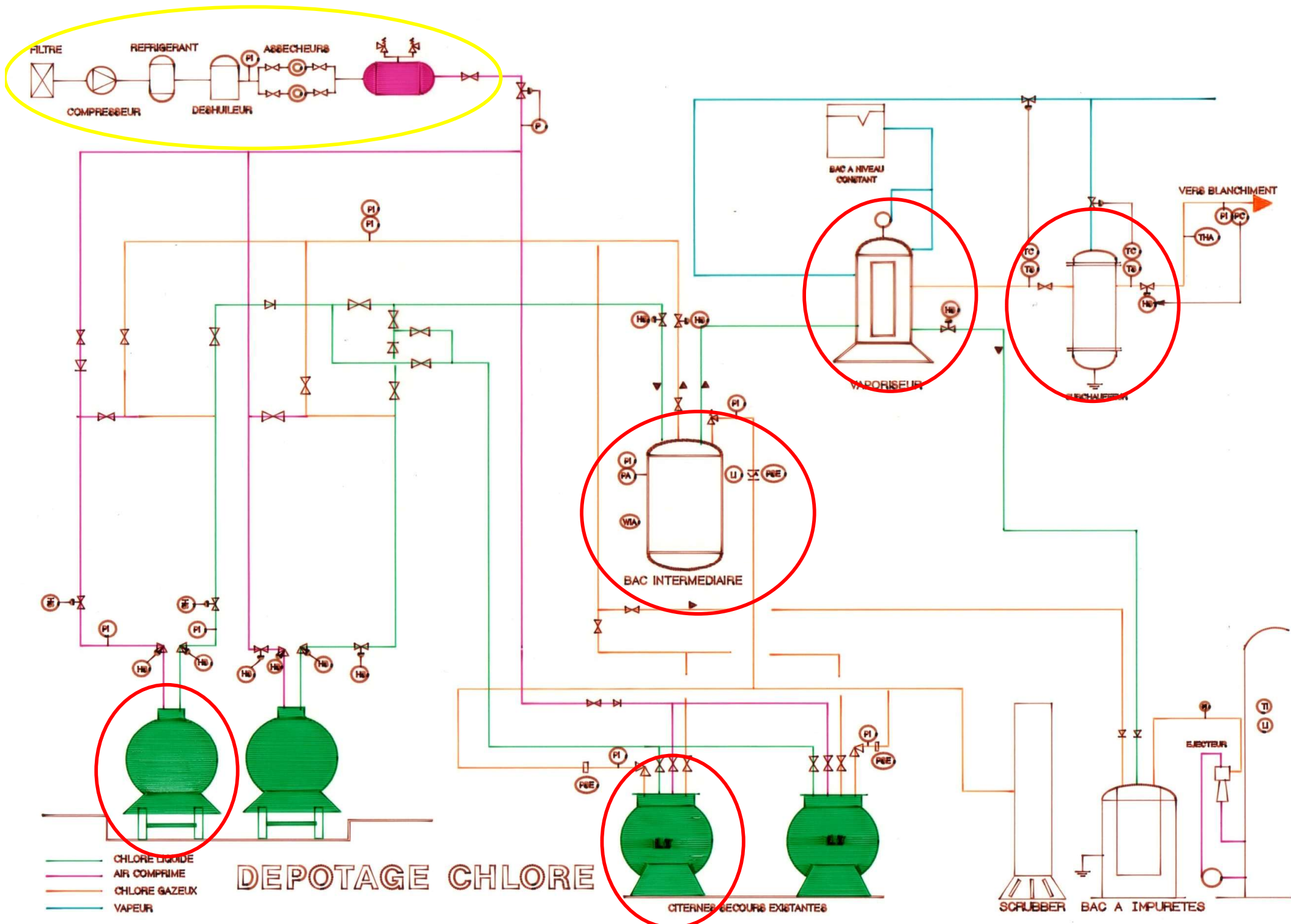
Etapes

1. Sélectionner les **points** du circuit à étudier
2. Définir les **paramètres** représentatifs
3. Choisir les **mots guide**
4. **Etudier** la dérive des paramètres

Mot guide	Dérive	Causes possibles	Conséquences	Moyens de détection	Actions possibles	Remarques

Etape N°1

Sélectionner les points du circuit à étudier



DEPOTAGE CHLORE

CITERNES SECOURS EXISTANTES

SCRUBBER

BAC A IMPURETES

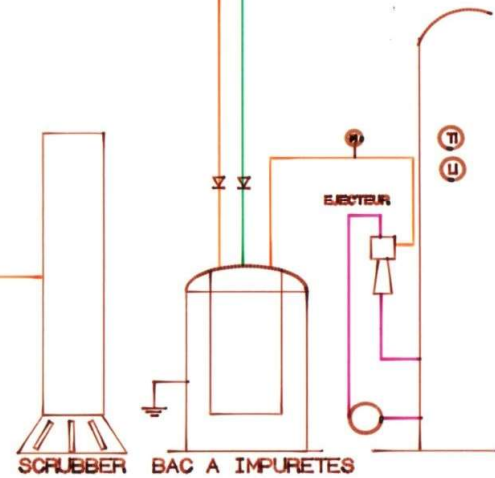
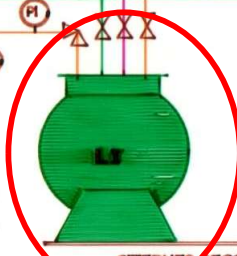
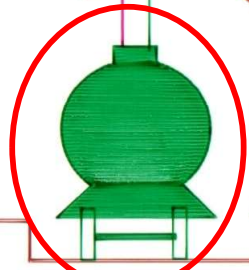
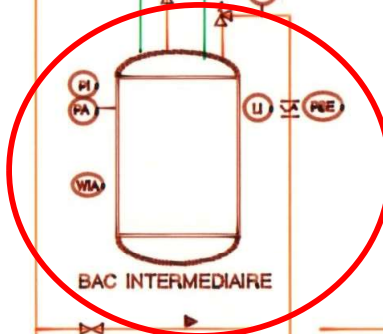
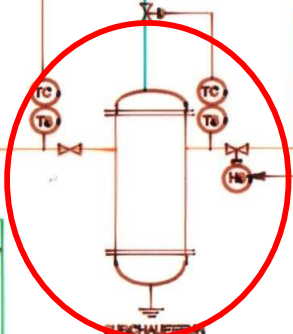
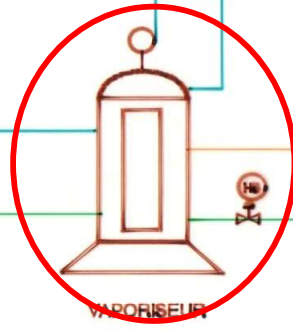
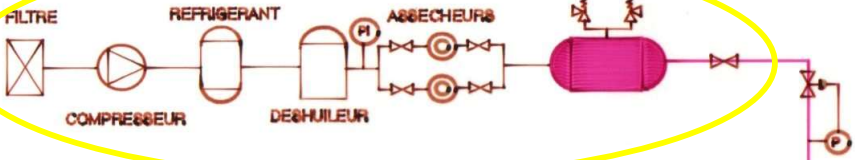
EJECTEUR

VARORISEUR

BAC A NIVEAU CONSTANT

VERS BLANCHIMENT

BAC INTERMEDIAIRE



Commentaires

Dans notre pratique de l'Hazop, nous nous concentrons sur les dérives susceptibles de créer un accident donc des atteintes aux personnes, directement ou indirectement. On se focalise donc sur les équipements à haut risque. Pour les identifier, on se réfère aux potentiels de danger présentés par l'installation et par les produits.

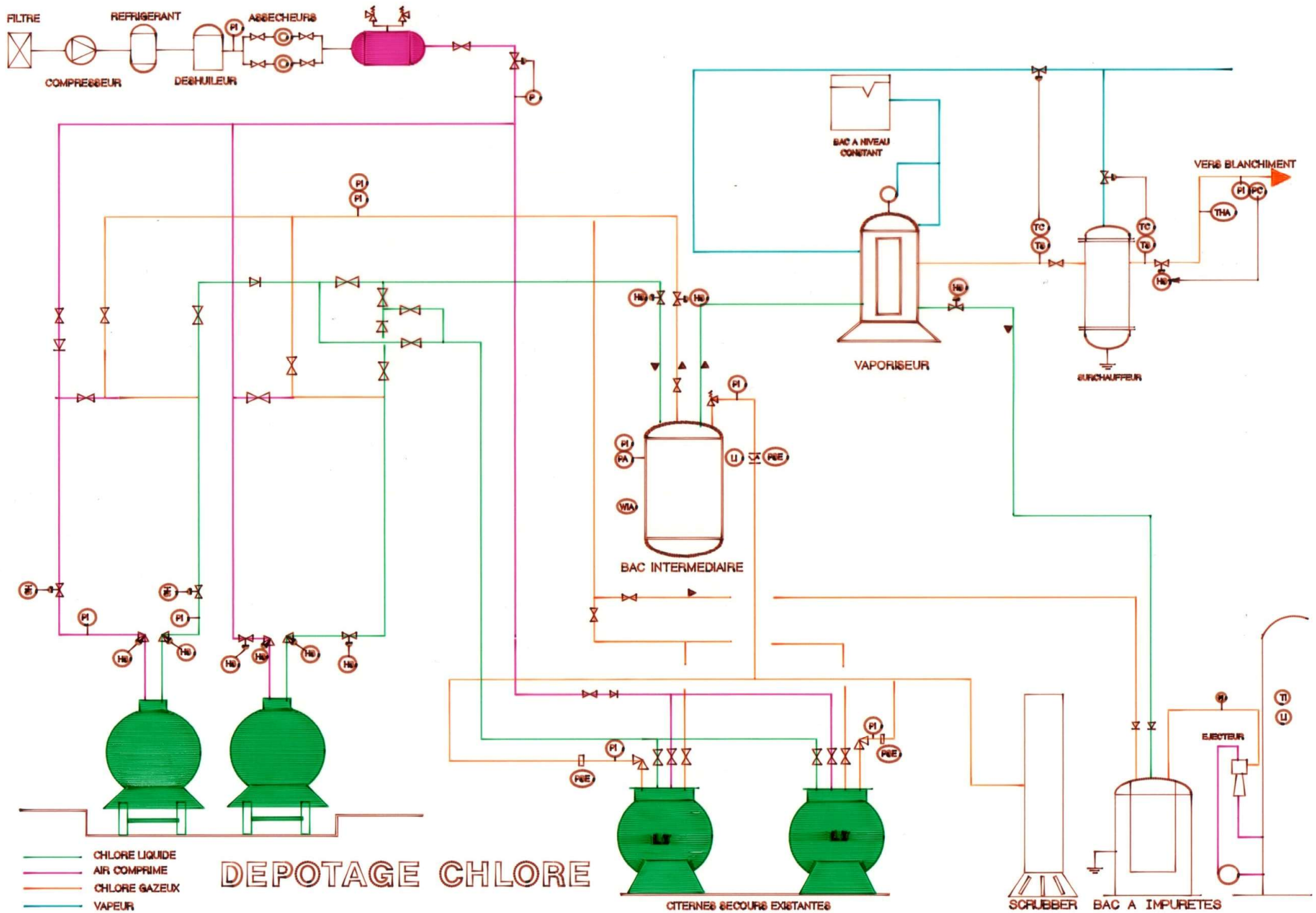
Clairement les stockages qui contiennent l'essentiel du chlore (wagons et sphère statiques) sont des zones à risque dans la mesure où une simple fuite serait immédiatement désastreuse, le chlore étant très toxique. C'est une situation d'atteinte directe.

Mais on sait aussi que le chlore réagit violemment avec certaines espèces chimiques comme les métaux (en présence d'humidité ou de chaleur) et les graisses. Ces interactions seraient susceptibles d'endommager les équipements et par ce biais de permettre l'atteinte personnes (atteinte indirecte). Assez clairement, on pointera le vaporiseur et le réchauffeur qui sont des objets métalliques portés à haute température en présence de vapeur d'eau. Une petite fuite même limitée de chlore et de vapeur d'eau en contact du métal pourrait conduire à une rupture par attaque acide et attaque directe. Le compresseur doit porter l'air à une pression relativement importante pour pouvoir pressuriser les réservoirs et extraire le chlore liquide. On remarquera qu'on n'utilise pas de pompes car ces organes doivent être lubrifiés et donc peu compatibles avec le chlore. Mais le compresseur lui-même doit être lubrifié. Par ailleurs l'air contient de l'humidité et lorsque comprimé typiquement à 40 bars pour l'application visée sa température augmente très significativement. Le contact de l'air chaud et humide avec du chlore pourrait créer une forte attaque acide dangereuse pour les équipements métalliques. De même le contact de traces de lubrifiant avec le chlore crée immédiatement une réaction de combustion également dangereuse. Il est donc essentiel que l'air comprimé soit correctement déshumidifié, refroidi et déshuilé.

Ainsi il apparaît que les 2 wagons, les 2 sphères statiques de stockage de chlore sont des équipements à étudier tout comme le vaporiseur, le réchauffeur et le train de traitement de l'air comprimé. On remarque également que la bache intermédiaire contient une contre une quantité assez significative de chlore ce qui représente un risque en soi mais aussi que cet équipement est à la croisée de tous les autres si bien qu'un incident dans un des appareils reliés à cette bache seraient détectés dans cette bache et inversement un incident dans cette bache se répercuterait sur tous les autres équipements. C'est un « capteur » du circuit. Donc il est certainement utile de s'intéresser à ce qui se passe dans cette bache.

Etape N°2

Définir les paramètres représentatifs



Paramètres

- Niveau
- Pression
- Température
- Impuretés
- Débit (entrant & sortant)

Etape N°3

Choisir les mots guide

Mots guides

- TROP DE
- INVERSION DE SENS
- PAS DE
- PAS ASSEZ de
- EN PLUS présence intempestive (phase : vapeur, solide,... impuretés, eau, air,...)

Etape N°4

Etudier la dérive des paramètres
Pour le wagon
Faire les dérives liées à TROP DE

Remarques liminaires

Dans les stockages le chlore est à l'état biphasique c'est à dire que coexistent un ciel gazeux et une fraction liquide en équilibre thermodynamique. Sur la ligne de changement d'état liquide-vapeur, on sait que la masse volumique du liquide varie assez fortement avec la température.

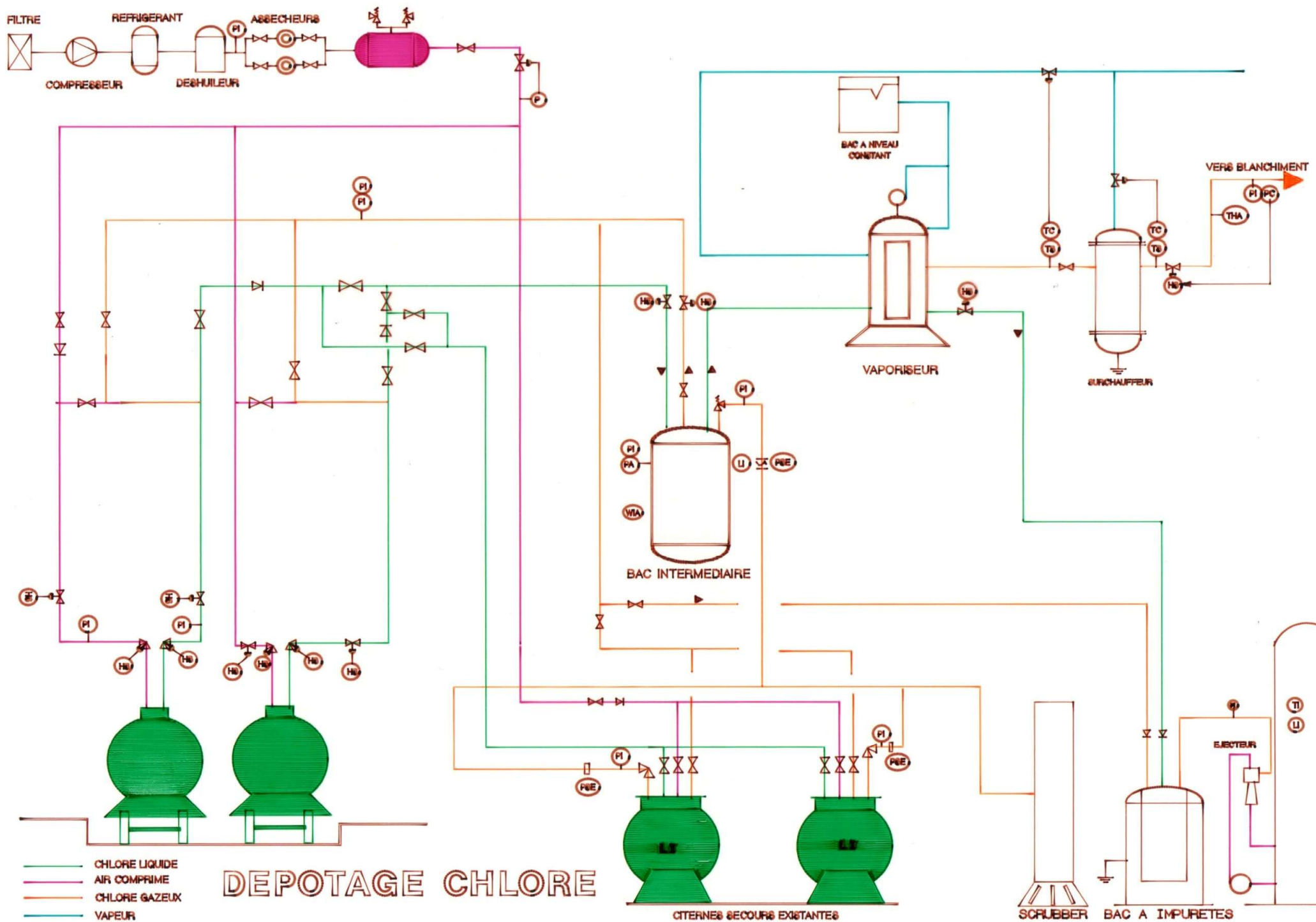
Or ces stockages sont à la température ambiante. Or la température ambiante peut varier de quelques dizaines de degrés selon la saison, selon le jour, et on a vérifié que dans ces conditions les gaz liquéfiés peuvent voir leur masse volumique liquide varier de 10 à 15%.

Si le volume de stockage est trop rempli en liquide alors il est possible que la dilatation de la phase liquide puisse faire disparaître la phase gazeuse. Dans ces conditions plus rien ne limite l'augmentation de la pression dans le réservoir lorsque la température augmente puisqu'il n'y a plus de phase vapeur et c'est la « rupture liquide » susceptible de conduire à un BLEVE.

Les industriels connaissent bien ce risque et se gardent bien de trop remplir les réservoirs. En principe le taux maximum de remplissage est de 80 à 90% en volume.

Un petit point de gestion des livraisons en vrac. Il est fréquent que les industriels se fassent livrer des produits en vrac sous forme liquide à partir de citernes, sous forme poudre ou gravier à partir de camions bennes. Ces citernes ou ces camions bennes passent d'un site à l'autre pour faire des déchargements partiels. C'est le cas aussi des wagons. Pour contrôler la quantité livrée le vraquier est pesé à l'entrée du site et à la sortie sur un plateau disposé au milieu d'une route ou sous les rails.

Une telle installation comportant une telle quantité de chlore serait identifiée aujourd'hui comme une installation à haut potentiel de risque c'est-à-dire une installation Seveso seuil haut. Nous verrons cette classification ultérieurement mais elle impose un contrôle très serré des risques majeurs et notamment dans ce cas précis les fuites massives de chlore. Parmi les obligations réglementaires il y a celles qui consistent à mettre en place un plan d'opération interne ou POI. Il s'agit de former des pompiers internes et de se procurer des moyens techniques pour lutter contre les accidents graves par exemple de puissants incendies, des fuites massives...



Mot guide	Dérive	Causes possibles	Conséquences	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
Trop de	Trop de niveau	Wagon trop rempli lors du chargement chez le fournisseur	Risque de rupture liquide	?	?	Procédure de réception (détection lors de la pesée d'entrée sur site)
		Erreur de branchement : Transfert d'un wagon (sous pression) vers l'autre (pas encore sous pression)	Idem	? (Absence de débit en aval ?)	Clapets anti retour (lignes liquides)	Insuffisant car possibilité de passage par ligne chlore gazeux si vannes ouvertes : Procédure de vérification en particulier lors de changement d'équipe
	Trop de pression	Défaillance compresseur	Trop de débit (cf ci après)			
		Présence d'impuretés dans l'air comprimé (dérive EN PLUS normalement..) Trop de température (cf ci-après) Trop de niveau (cf ci-dessus)	Réactions exothermiques dangereuses (corrosion, fuites ?)	PI	Filtres, dessiccateur	Définir la procédure d'entretien et les tolérances d'impuretés

Mot guide	Dérive	Causes possibles	Conséquences	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques
Trop de	Trop de température	Echauffement solaire intense	Montée en pression, perturbation possible du fonctionnement des équipements	Au niveau du bac intermédiaire (perte de l'équilibre thermo ?)		Arrosage préventif
		Incendie à proximité	Trop de pression, dégradation et fuite	Visuel		Action POI
		Présence d'impuretés dans l'air comprimé cf ci-dessus				
	Trop de débit	Reflux de chlore vapeur chaud venant du vaporiseur ?	dérive au niveau du vaporiseur (cf étude du vaporiseur)	Au niveau du bac intermédiaire (perte de l'équilibre thermo ?)	Intervention éloignement	cf étude du vaporiseur + clapet anti-retour sur entrée vaporiseur
		Trop de débit entrant d'air ou réglage défectueux du débit de sortie	Est-ce dangereux ?	PI		À étudier..