



RENCONTRE DU GTFE – ATELIER DU 20/06/2024

**L'exploitation des tunnels routiers : Comment gérer et traiter les
venues d'eau ?**

INTRODUCTION :

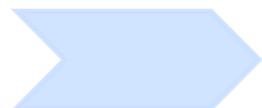
LE TRAITEMENT DES VENUES D'EAU EN OUVRAGES SOUTERRAINS

-

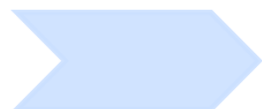
LA DOCTRINE

David CHAMOLEY - CETU

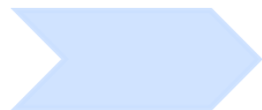
SOMMAIRE



1. Le corpus technique



2. Les principales solutions de traitement des venues d'eau



3. Les critères de choix des solutions

INTRODUCTION

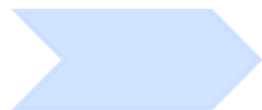
Les venues d'eau sont un désordre récurrent en ouvrages souterrains (anciens ET nouveaux).

Elles engendrent de **graves problèmes** :

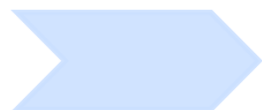
- ✓ d'**exploitation de l'ouvrage** (verglas, stalactites, mauvais fonctionnement des équipements)
- ✓ de **durabilité** du génie civil et/ou des équipements.

Leur traitement curatif dans un ouvrage en exploitation est souvent très **complexe**. De **nombreuses techniques** existent, dont l'efficacité, la pérennité, le coût... sont très variables.

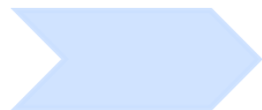
SOMMAIRE



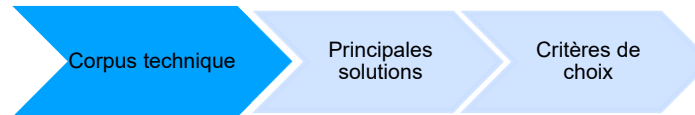
1. Le corpus technique



2. Les principales solutions de traitements des venues d'eau



3. Les critères de choix des solutions



PREAMBULE - Définitions :

ÉTANCHEMENT : Action qui consiste à empêcher ou à limiter l'eau de pénétrer dans l'ouvrage, depuis le terrain vers l'intérieur de l'ouvrage souterrain.

En réparation, l'étanchement se décline en 2 principes :

- **L'étanchéité** : emploi d'un écran étanche posé soit en indépendance (ex : géomembrane), soit en adhérence au support (ex : résine armée) → **débit de fuite nul**
- **L'imperméabilisation** : emploi d'un système hydrofuge adhérent au support (ex : enduit, résine). Ces systèmes ne résistent pas à la fissuration appréciable du support → **débit de fuite non nul à +/- long terme**

DRAINAGE : Action qui consiste à canaliser et à laisser circuler l'eau dans un espace dédié jusqu'à un exutoire.

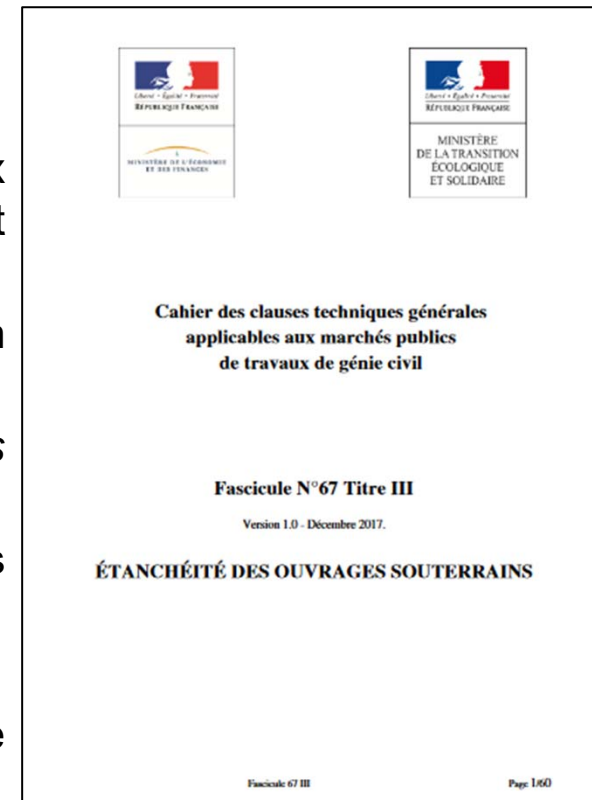


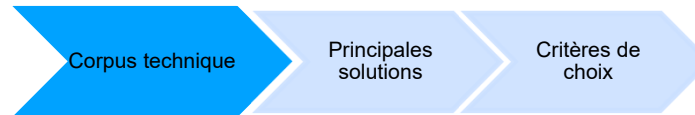
Document réglementaire :

Le **fascicule 67 titre III** (12/17) **du CCTG** applicable aux marchés publics de travaux de GC pour l'étanchement **des ouvrages souterrains** décrit :

- ✓ les **10 procédés** les plus couramment utilisés en ouvrages souterrains,
- ✓ les propriétés qu'ils doivent satisfaire (*sans donner de valeur de performance*)
- ✓ la qualité du support et la mise en œuvre des procédés d'étanchéité.

Il est applicable pour les travaux neufs mais on peut le transposer pour **les travaux de réparation**.





Qualifications associées :

- Les **Avis Techniques (AT) CETU** :

Une Commission, animée par le CETU a mis en place une procédure d'évaluation des performances (→ référentiel technique à respecter) des **10 procédés d'étanchéité traditionnels** présentés dans le fascicule 67 titre III.

Liste des AT CETU téléchargeable gratuitement sur le site du CETU

- Les **Evaluations AFTES (ex Avis d'Experts)** :

Une Commission animée par l'AFTES a mis en place une procédure d'évaluation des performances (→ « à dire d'experts ») des **procédés d'étanchéité ET de drainage innovants** non couverts par le Fascicule 67 III du CCTG.

Liste des EA téléchargeable sur le site internet de l'AFTES

Document technique CETU :

Les 2 documents techniques principaux du CETU qui aborde le traitement des venues d'eau dans les tunnels routiers sont :

- Note d'information n°25 « Exigences de comportement au feu des procédés de traitement des venues d'eau » (03/14)
- « **Retours d'expérience sur la réparation du génie civil de tunnels routiers** » (03/23)

Documents téléchargeables sur le site du CETU

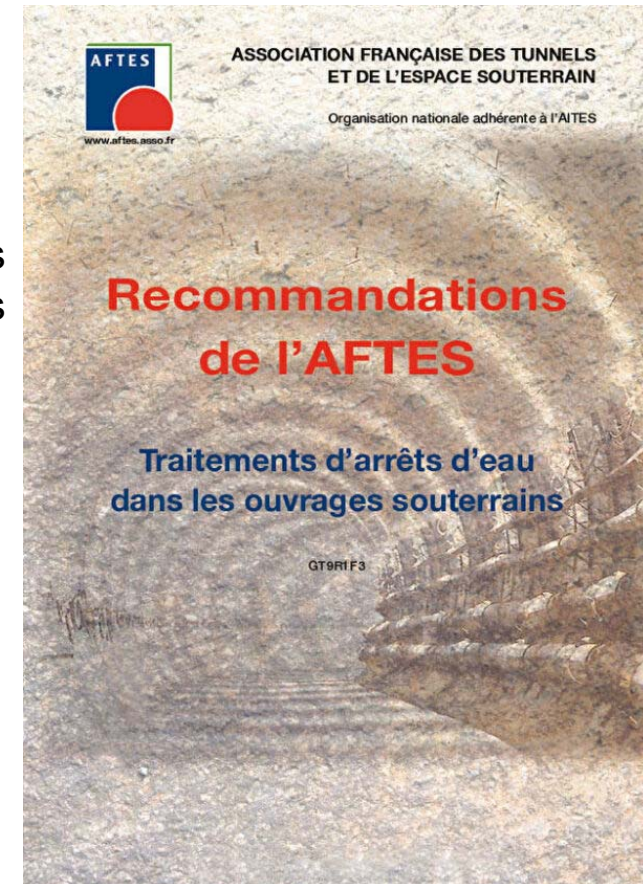
20/06/2024

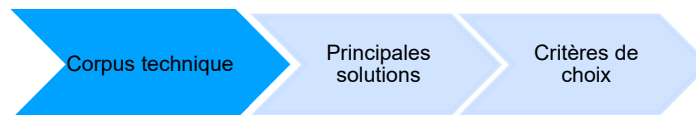


Document technique AFTES :

Le document principal de l'AFTES qui aborde les traitements des venues d'eau dans les ouvrages souterrains est :

- la **Recommandation GT9R1F3**



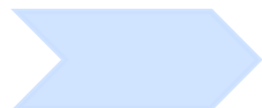


Les procédés d'étanchement utilisés en réparation :

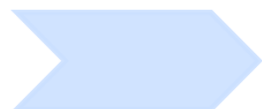
8 procédés sont principalement utilisés en traitement des venues en tunnels routiers

Principe	Position du procédé	Nom du procédé (acronyme) (* Vu dans la suite du diaporama)	Qualification
Etanchéité	Extrados d'un nouveau revêtement béton	Géomembrane (GMB-S)	AT CETU
		Résine projetée confinée (SEPC extrados)	EA
	Intrados de la structure existante	Résine d'étanchéité armée (SEL-A)	EA
		Résine projetée confinée (SEPC intrados)	EA
Imperméabilisation	Intrados de la structure existante	Enduit d'imperméabilisation adjuvanté mince (EIA-M)	AT CETU
		Enduit d'imperméabilisation adjuvanté épais (EIA-E)	AT CETU
		Enduit d'imperméabilisation minéralisant (EI-M)	-
		Résine d'imperméabilisation (SIL)	AT CETU

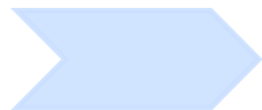
SOMMAIRE



1. Le corpus technique

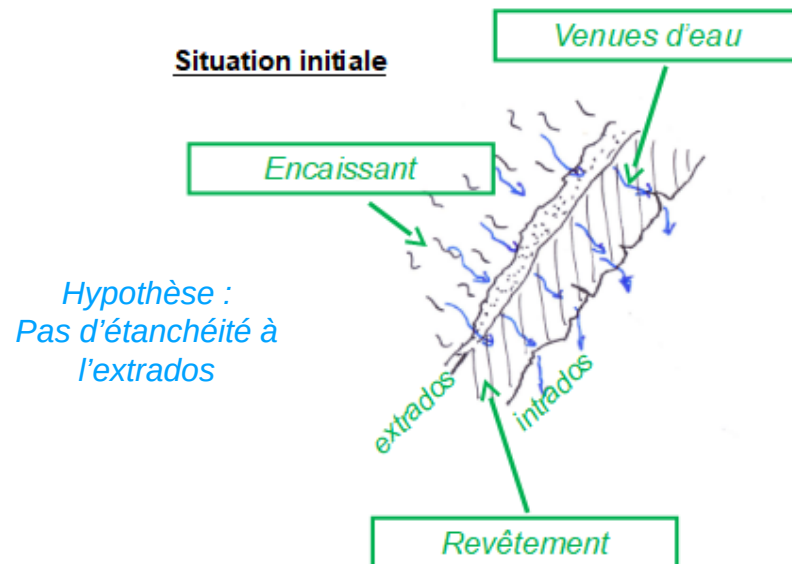


2. Les principales solutions de traitement des venues d'eau

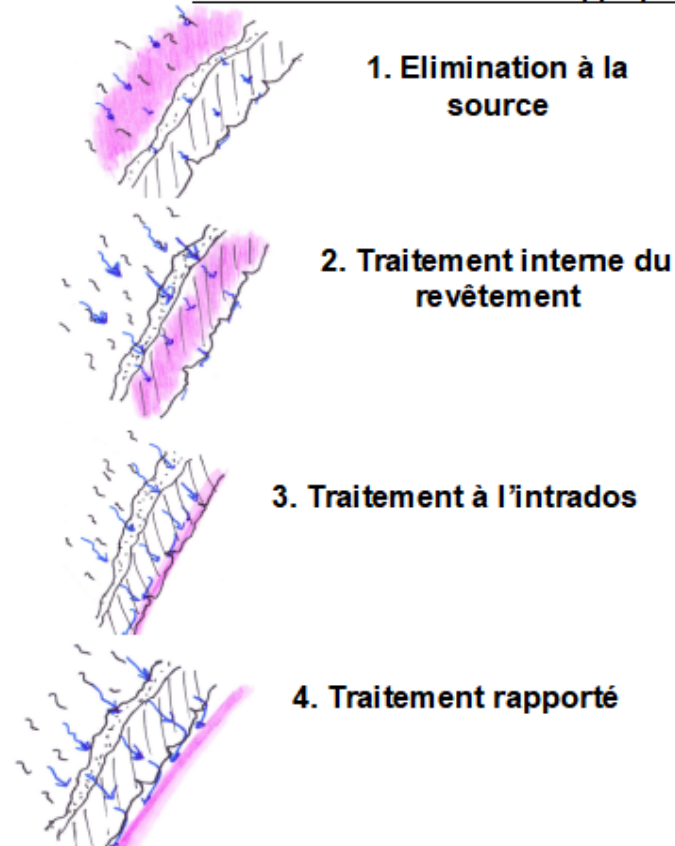


3. Les critères de choix des solutions

Les différentes méthodes de traitement :

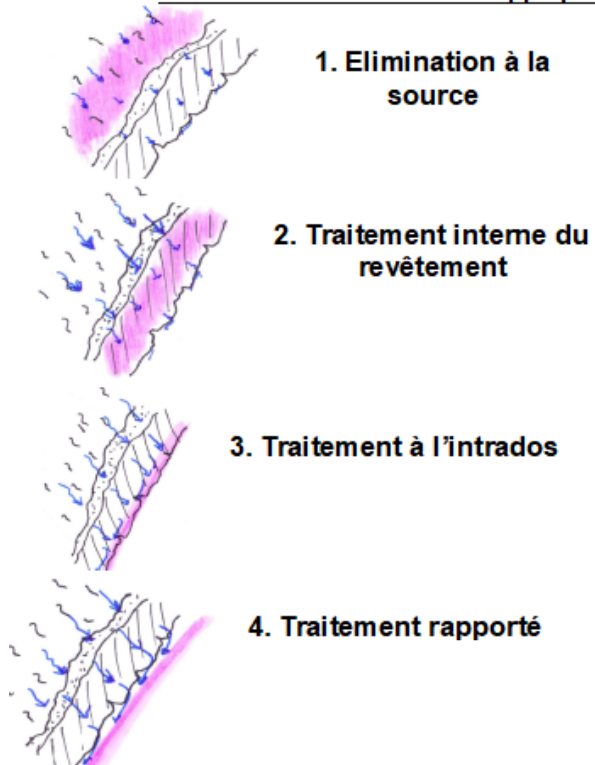


Localisation du traitement à appliquer



Les différentes méthodes de traitement :

Localisation du traitement à appliquer



Principales solutions abordées dans cette présentation



Injection de terrain



- Injection d'arrêt d'eau
- Drainage linéaire encastré



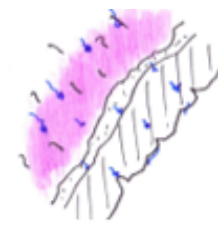
Étanchéité ou imperméabilisation adhérent à l'intrados



- Drainage linéaire ou surfacique fixé au support
- Étanchéité protégée par un nouveau revêtement



Les différentes méthodes de traitement :



1. Elimination à la source

Technique	Consistance	Problématique
Injection de terrain	Comblement des vides à l'arrière du revêtement par injection de coulis ou mortier	Technique seule souvent insuffisante en terme d'étanchement (= pré-étanchement) → Besoin d'un traitement complémentaire

Les différentes méthodes de traitement :

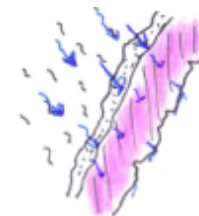


1. Elimination à la source



*Exemple dans une galerie
avec revêtement béton
(traitement souvent utilisé
pour les tunnels en
maçonnerie)*

Les différentes méthodes de traitement :



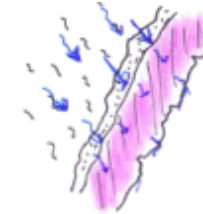
2. Traitement interne du revêtement

Techniques	Domaine d'emploi	Consistance	Problématique
Injection d'arrêt d'eau	Défaut ponctuel ou linéaire (fissure, joint...)	Blocage des venues d'eau par injection de coulis chimique ou minéral	- Uniquement un pré-étanchement - Traitement confortatif à l'intrados si le MOA demande une étanchéité durable

Les différentes méthodes de traitement :

- Différentes familles de coulis d'injection :

- Les **coulis chimiques** : résines acryliques, résines polyuréthannes (mono ou bi-composants), résines époxydiques, gels de ciment
- Les **coulis minéraux** : ciment minéralisant, bentonite, ciment bentonite



2. Traitement interne du revêtement

19 types de coulis

→ Choix en fonction de nombreux paramètres (taille, activité de la fissure, porosité, pression de l'eau...)



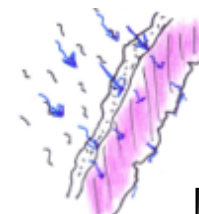
Les différentes méthodes de traitement :

- Garanties particulières :

Pour un traitement « simple » (injection seule = pré-étanchement), la garantie ne dépasse pas, à ce jour :

- ✓ **3 ans** pour les coulis acryliques
- ✓ **5 ans** pour les autres coulis chimiques

Pour un traitement « complet » (injection + traitement complémentaire intrados), le MOA peut demander une garantie particulière d'étanchéité de **10 ans**, prise en charge par l'entrepreneur.

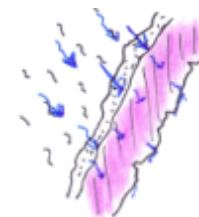


2. Traitement interne du revêtement





Les différentes méthodes de traitement :



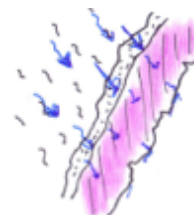
2. Traitement interne du revêtement

Techniques	Domaine d'emploi	Consistance	Problématique
Drainage encastré	Défaut ponctuel ou linéaire (fissure transversale, joint de plots...)	Captage des venues d'eau par encastrement d'un profilé drainant dans une saignée Branchement à un système de collecte des eaux drainées	- Risque de gel à l'arrière du procédé - Risque de colmatage du drainage (si eau incrustante) - Traitement confortatif à l'intrados si le MOA demande un traitement durable

Les différentes méthodes de traitement :

- Réalisation de la saignée :

**Tunnel du Col de
Menée :**



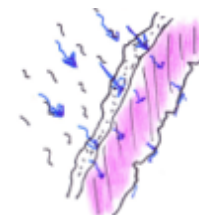
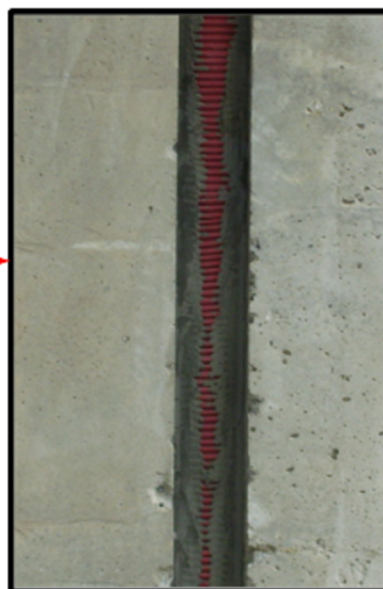
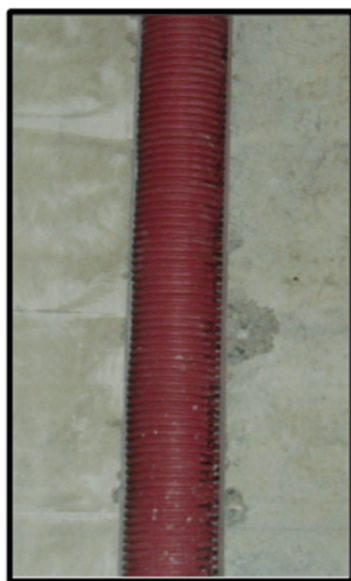
2. Traitement interne du revêtement



Les différentes méthodes de traitement :

- Pose d'un profilé dans la saignée et calfeutrement :

*Tunnel du Col de
Menée :*



2. Traitement interne du revêtement

Les différentes méthodes de traitement :

- Réalisation du traitement confortatif par résine armée (SEL-A) :

**Tunnel du Col de
Menée :**



2. Traitement interne du revêtement

Les différentes méthodes de traitement :



3. Traitement à l'intrados

Techniques	Domaine d'emploi	Consistance	Problématique
Etanchement adhérent : - imperméabilisation - étanchéité	Défaut surfacique à généralisé dans tunnel revêtu présentant de forts contraintes de gabarit	Arrêt des venues d'eau par application (manuelle ou par projection) à l'intrados de procédé d'imperméabilisation ou d'étanchéité	- Durabilité entre étanchéité et imperméabilisation - Nécessite une bonne qualité du support (cohésion + siccité) - Comportement au feu pour les résines

Les différentes méthodes de traitement :

**Tunnel du Col de
Menée (enduit
d'imperméabilisation
mince) :**



3. Traitement à l'intrados



Les différentes méthodes de traitement :

3. Traitement à l'intrados



Tunnel de Rive de Gier (SEL-A) :



Les différentes méthodes de traitement :

***Tunnel des Echelles
(Coque d'étanchéité
ancrée : SEPC intrados
avec confinement en
béton projeté) :***



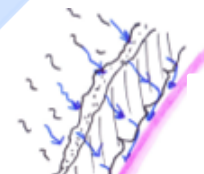
Projection de l'étanchéité



*Projection du confinement en
béton armé ancré*



3. Traitement à l'intrados



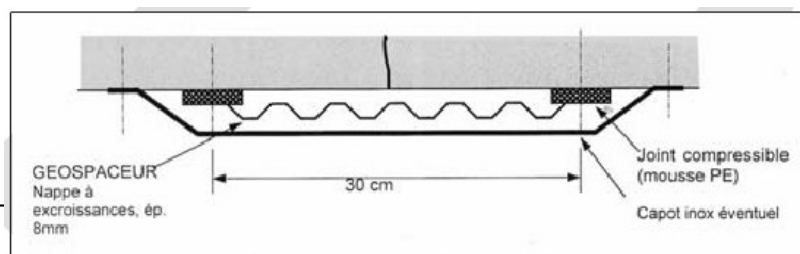
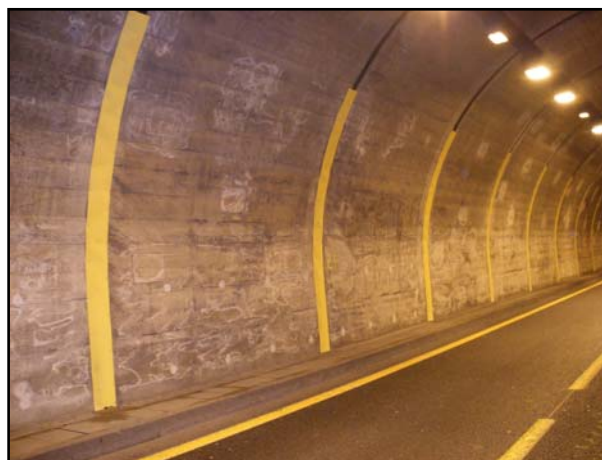
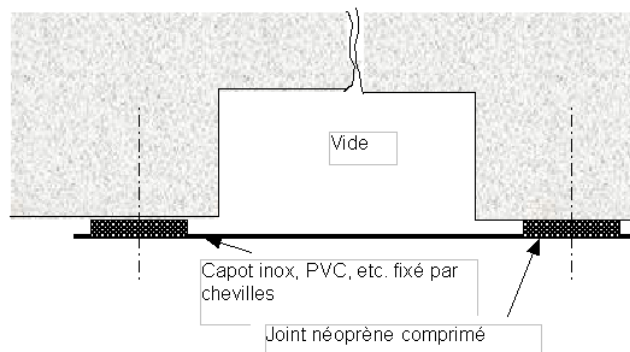
4. Traitement rapporté

Les différentes méthodes de traitement :

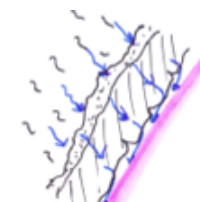
Techniques	Domaine d'emploi	Consistance	Problématique
Drainage fixé au support (en saillie)	Défaut ponctuel ou linéaire (fissure transversale, joint de plots...) → Goulotte drainante	Captage des venues d'eau dans un système drainant fixé au support (béton ou rocher)	- Risque de gel à l'arrière du procédé - Risque de colmatage du drainage (si eau incrustante) - Risque d'arrachement des dispositifs en saillie à l'intrados
	Défaut généralisé → Tôle parapluie → Coque drainante	Branchement à un système de collecte des eaux drainées	<i>Idem +</i> - Difficulté d'inspecter à l'arrière du dispositif - Etude d'implantation géométrique préalable

Les différentes méthodes de traitement :

Goulotte drainante :



20/06/2024

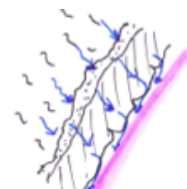


4. Traitement rapporté



Les différentes méthodes de traitement :

**Tunnel du
Chambon (Tôle
parapluie) :**



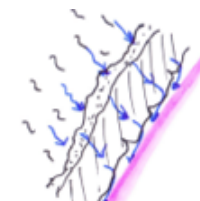
4. Traitement rapporté

Les différentes méthodes de traitement :

**Tunnel du Roux
(Coque drainante :
Géocomposite de
drainage +
revêtement en béton
projeté armé)**



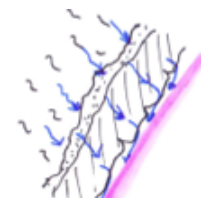
*Pose du treillis soudé avant
projection du béton*



4. Traitement rapporté



Les différentes méthodes de traitement :



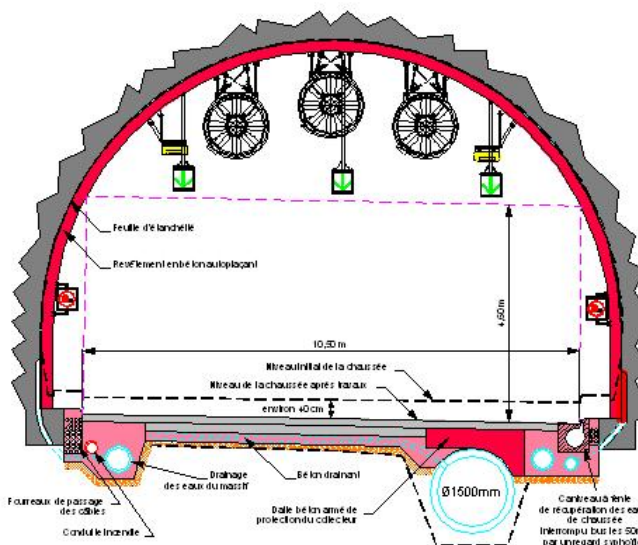
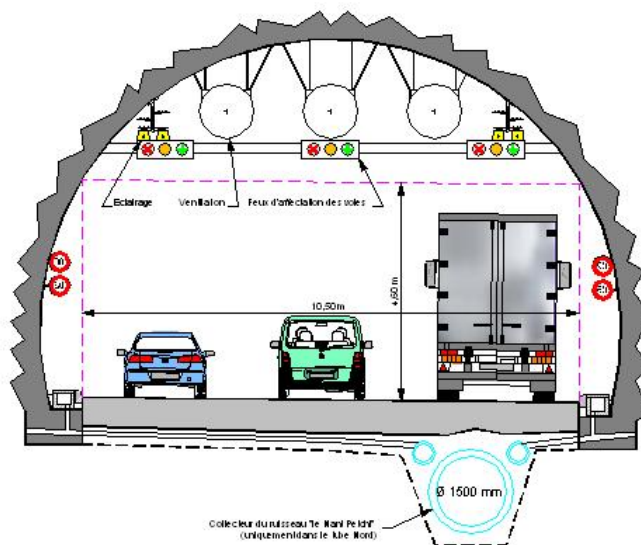
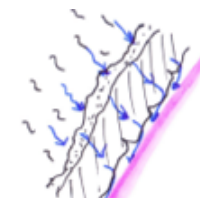
4. Traitement rapporté

Techniques	Domaine d'emploi	Consistance	Problématique
Etanchéité protégée par un nouveau revêtement béton	Défaut généralisé (avec nombreuses venues d'eau diffuses) → Chemisage → Coque d'étanchéité	Arrêt des venues d'eau par mise en œuvre d'un nouveau revêtement étanché Branchement à un système de collecte des eaux drainées à l'extrados	- Etude préalable du gabarit pour insertion d'une solution « épaisse » (10 à 30 cm)

Les différentes méthodes de traitement :

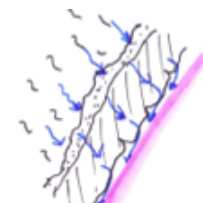
**Tunnel des Monts (Chemisage :
Géomembrane PVC + Revêtement en
béton coffré)**

4. Traitement rapporté



Les différentes méthodes de traitement :

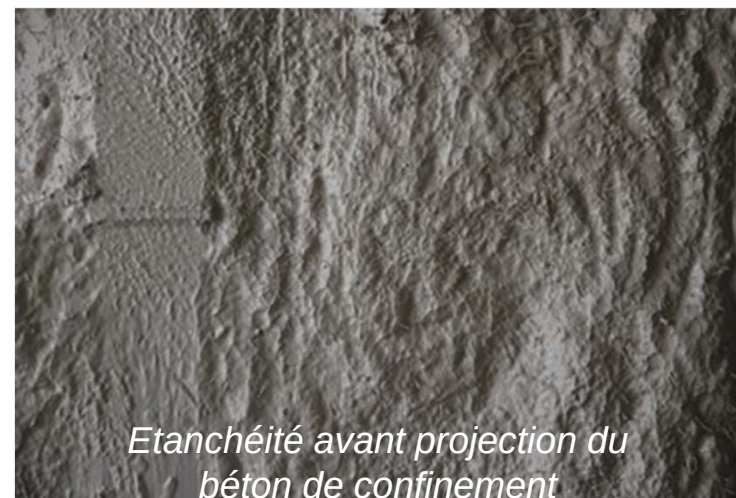
Tunnel des Cliets (Coque d'étanchéité auto-portante : SEPC intrados avec confinement en béton projeté)



4. Traitement rapporté

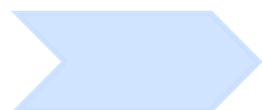


Projection de l'étanchéité

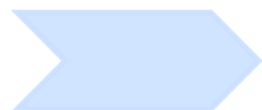


*Etanchéité avant projection du
béton de confinement*

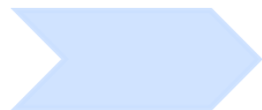
SOMMAIRE



1. Le corpus technique



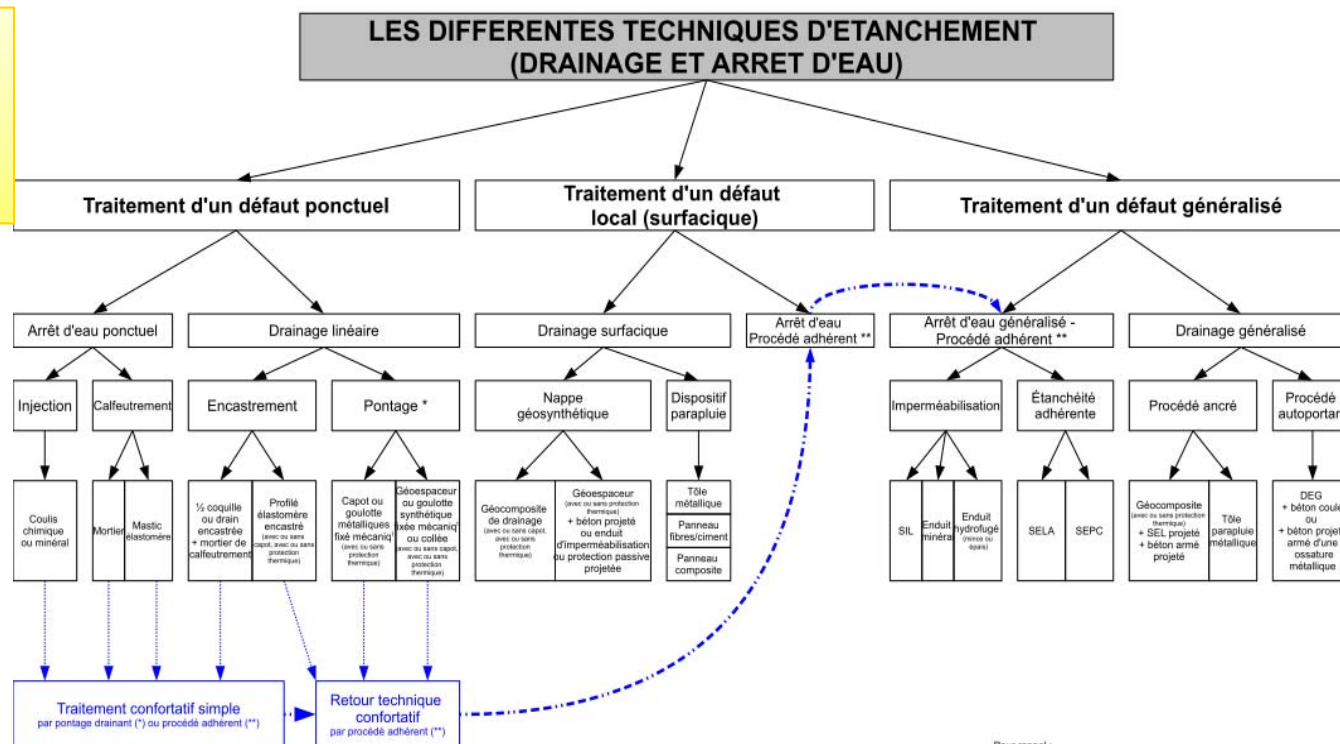
2. Les principales solutions de traitement des venues d'eau



3. Les critères de choix des solutions

Données d'entrée au niveau du DIAGNOSTIC :

- Localisation des désordres à traiter : fissure, joint de plot, zone poreuse...



Pour rappel :
 - SIL : Système d'Imperméabilisation Liquide
 - SEL : Système d'Étanchéité Liquide
 - SELA : Système d'Étanchéité Liquide Armé
 - SEPC : Système d'Étanchéité Projecté Confiné
 - DEG : Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane

Données d'entrée au niveau du DIAGNOSTIC :

- **Niveau d'infiltration des venues d'eau :**
humidité, gouttes à gouttes, suintement,
écoulement...



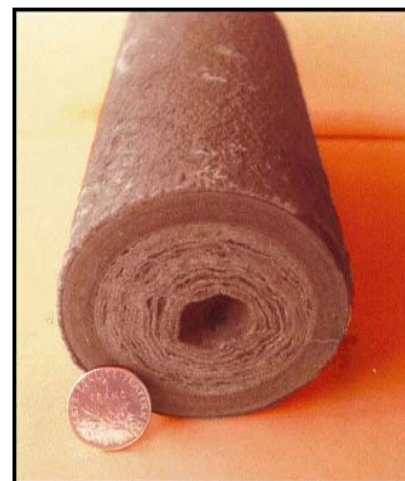
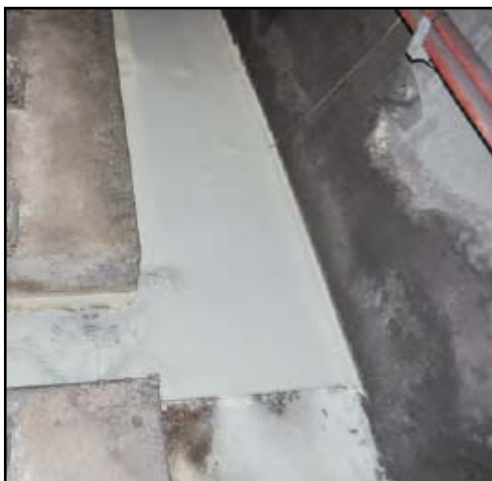
Extrait Recommandation AFTES

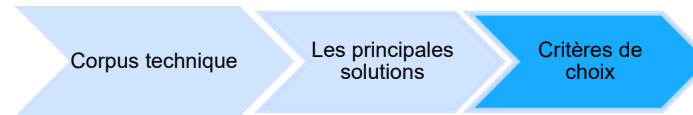
Tableau 1 - Définition des niveaux de venues d'eau

Niveau	Débit des venues d'eau (D)
0	Support sec
1	Surface humide
2	Goutte à goutte léger $D \leq 30$ gouttes/minute
3	Goutte à goutte conséquent $D \geq 30$ gouttes/minute
4	Suintement léger $D < 1$ litre/minute
5	Suintement moyen $1 \text{ litre/minute} < D < 5 \text{ litres/minute}$
6	Suintement important $5 \text{ litres/minute} < D < 10 \text{ litres/minute}$
7	Suintement important $10 \text{ litres/minute} < D < 15 \text{ litres/minute}$
8	Écoulement moyen $15 \text{ litres/minute} < D < 25 \text{ litres/minutes}$
9	Écoulement important $D > 25 \text{ litres/minutes}$

Données d'entrée au niveau du DIAGNOSTIC :

- **Caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'infiltration :**
 - caractère agressif (→ risque d'attaque sur matériaux bétons, corrosion des armatures)
 - caractère incrustant (→ risque de colmatage des procédés drainants)



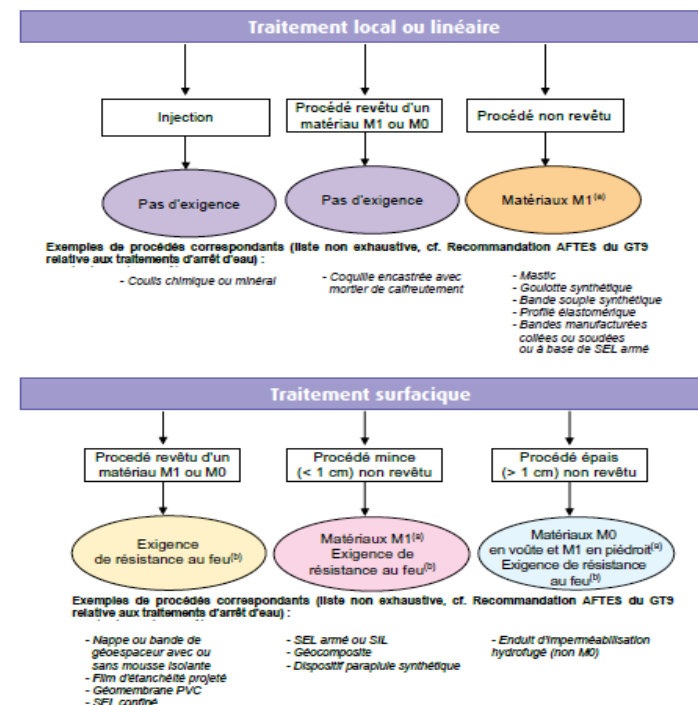


Données d'entrée au niveau de L'OUVRAGE :

- **Nature du revêtement de l'ouvrage** : maçonnerie, béton armé ou non, rocher, présence d'un DEG à l'extrados...
- **Environnement de l'ouvrage** : présence de nappe phréatique, risque de gel dans l'ouvrage...
- **Emprise du procédé sur la section intérieure disponible de l'ouvrage** : gabarit restant...

Données d'entrée au niveau de L'OUVRAGE :

- Comportement au feu des procédés / réglementation de l'ouvrage :
 - Réaction au feu du matériau
 - Résistance au feu du procédé



Remarques :

⁽⁴⁾ **Exigence de réaction au feu M1** : Seuls les matériaux inflammables directement exposés au feu doivent justifier de leur performance en terme de réaction au feu. Aucune justification n'est demandée pour les mortiers de calfeutrement M0 et autres produits minéraux.

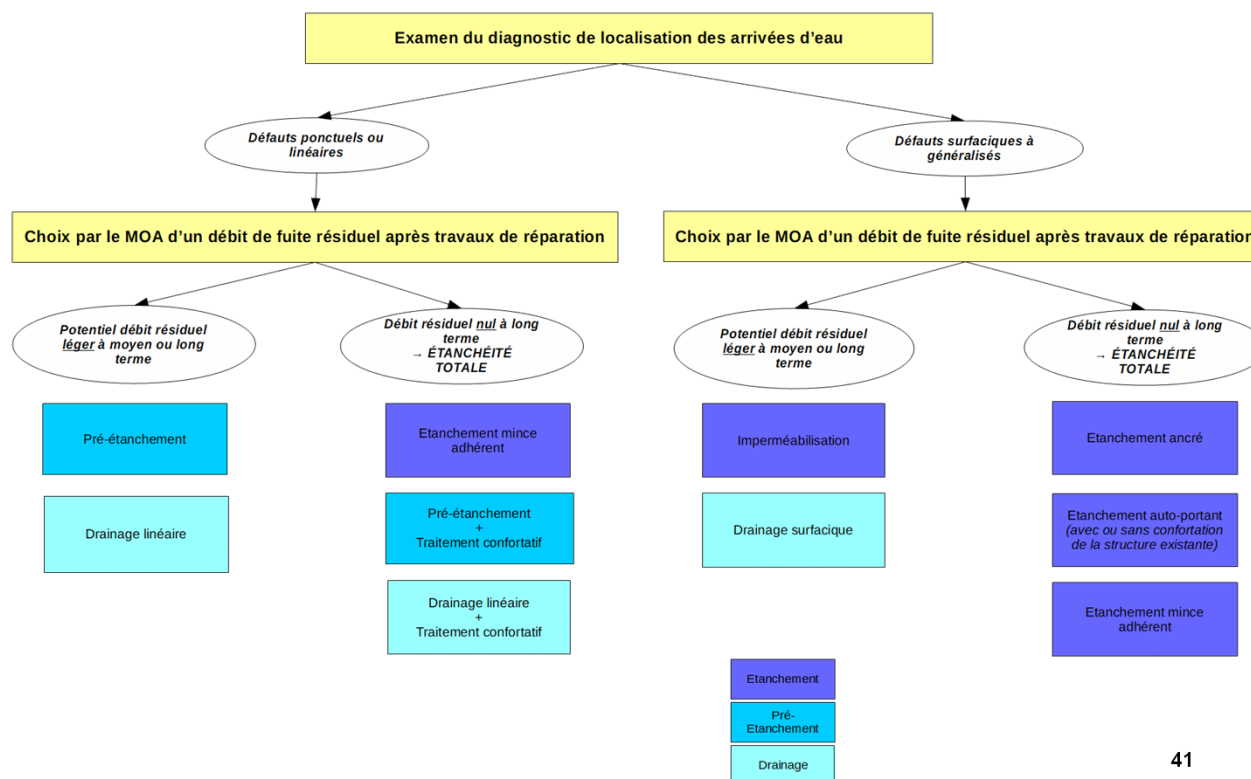
⁽⁵⁾ **Exigence de résistance au feu** : les procédés d'étanchement surfaciques doivent garantir l'absence d'effondrement en chaîne (N0) et l'absence de chutes d'éléments mettant en danger les équipes de secours sous 450°C pendant 2 heures.

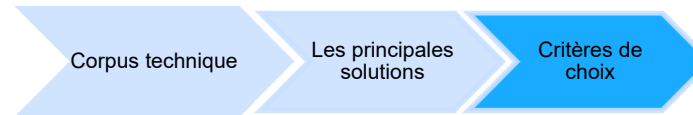
Données d'entrée au niveau des EXIGENCES DU MOA :

• Programme du MOA :

- **Traitement total**
(étanchéité - pas de débit de fuite)
- OU
- **Traitement relatif**
(imperméabilisation -
risque de débit de fuite à
terme)

Synoptique d'aide au choix des procédés d'étanchement ou des dispositifs de drainage en tunnels routiers





Données d'entrée au niveau des EXIGENCES DU MOA :

- **Programme du MOA :**

- Contraintes d'exploitation de l'ouvrage pendant le chantier
- Contraintes d'exploitation à terme (entretien de la réparation, possibilité d'inspecter la structure, évacuation des eaux drainées...)

→ Le MOA doit s'entourer d'un **AMOA** et **MOE** spécialisés (ex : Le CETU !)





MERCI DE VOTRE ATTENTION

Pour aller plus loin → Me contacter :
david.chamoley@developpement-durable.gouv.fr