

À l'attention de Monsieur Bideau

RAPPORT D'ÉTUDE- E024-001-03-A

Tribunal de commerce – Toulouse

Salle des Pas Perdus – Colonnes intérieures - Essais de dessalement



Source : Wikimédia

Rédacteurs : **Alexis Texier**, ingénieur chargé d'étude
Célia Santi, conservatrice-restauratrice
Paul Libert, chargé d'étude

Tarascon, le 21 mars 2025

Sommaire

Préambule	3
Objet du présent rapport	3
Programme d'étude	3
Méthodologie d'essais	4
Localisation des zones d'études	4
Mise en œuvre des compresses	5
Composition des compresses	5
Applications	5
Observations au cours des applications	7
Analyses en laboratoire	8
Dosages des sels solubles des éléments de sols	8
Analyses relatives aux essais de dessalement	9
Synthèse des résultats	15
Annexe	17

Préambule

Objet du présent rapport

Dans le cadre de la mission de maîtrise d'œuvre relative à la restauration du tribunal de commerce de Toulouse, situé 3 place de la Bourse, pilotée par l'agence le Pavillon Architectures, Aslé Conseil a été sollicitée pour mener une mission d'essais de dessalement des colonnes de la salle des pas perdus.

Cette mission s'est déroulée en trois étapes réparties du 10 au 18 février 2025 et fait suite aux précédentes études ayant fait l'objet de deux rapports référencés ainsi :

- > E024-001-01-A : Tribunal de commerce - Toulouse Salle des pas perdus – Étude de l'altération des colonnes, en date du 12 août 2024.
- > E024-001-02-A : Tribunal de commerce - Toulouse Salle des pas perdus – Préconisations de restauration (APD), en date du 23 octobre 2024.

Programme d'étude

En concertation avec la maîtrise d'œuvre et après adaptation du programme initial, l'étude a consisté en la réalisation des essais, analyses et études suivantes :

Réalisation d'essais de dessalement

- > Mise en œuvre d'une formulation de deux typologies de compresseurs de dessalement pour une zone d'essai en deux passes successives.
- > Prélèvements manuels de compresseurs et par micro-forages d'échantillons de poudre de pierre pour le contrôle de l'efficacité des tests de dessalement.

Analyses en laboratoire

- > Dosage des sels solubles - quantification des anions et cations selon la norme NF EN 16455 à deux profondeurs : pour l'état initial et à la suite des deux passes, sur deux états de surface différents, des deux typologies de compresseurs, comprenant également quatre dosages d'éléments du sol afin de compléter le précédent diagnostic.

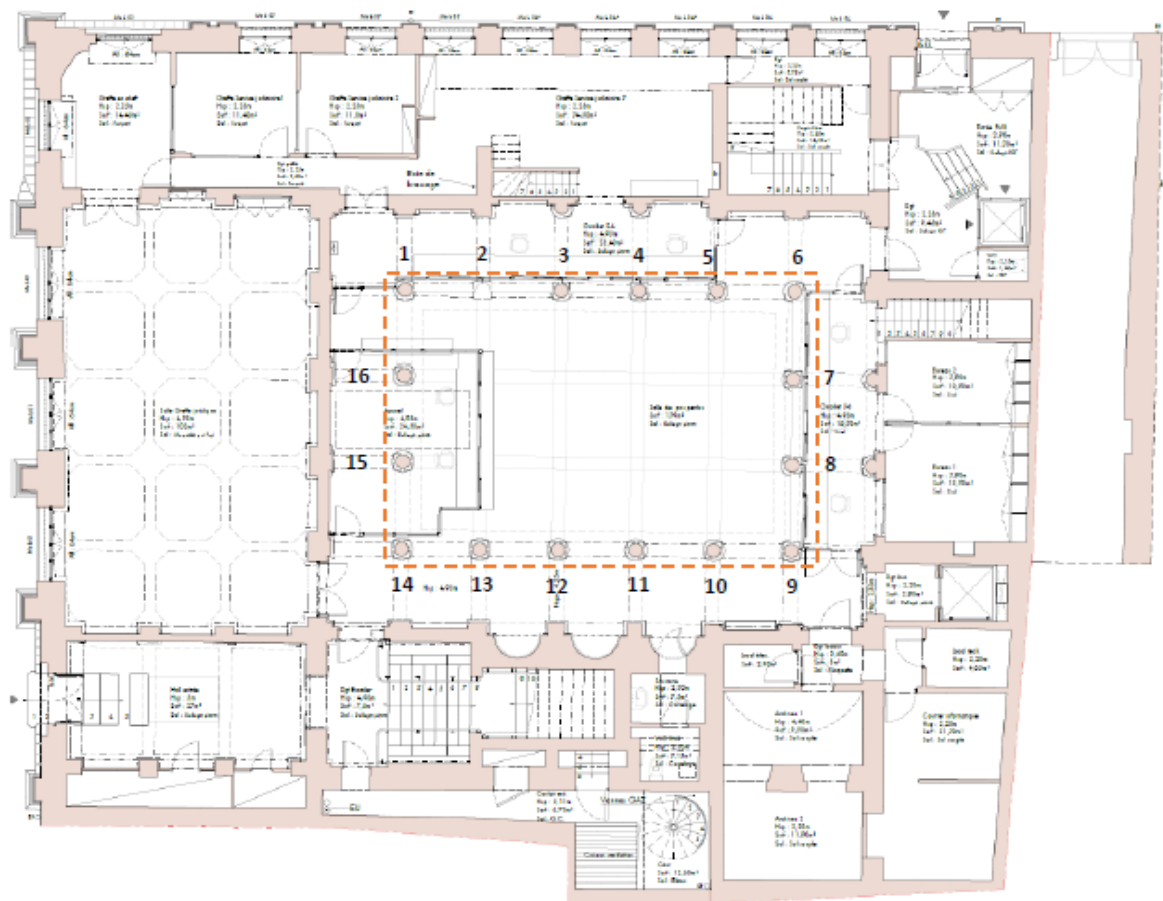
Études et Ingénierie

- > Fourniture du présent rapport d'étude exploitant les résultats d'essais sur site et les analyses de laboratoire.

Méthodologie d'essais

Localisation des zones d'études

Les essais de faisabilité du dessalement ont été réalisés sur la colonne intérieure de la salle des Pas Perdus, numérotée 15 sur le schéma ci-dessous, située au rez-de-chaussée du tribunal de commerce. Les échantillons de sol ont été prélevés sous les colonnes 11 et 12, en 4 profondeurs différentes.



Vue en plan de la zone d'étude au sein du tribunal de commerce - Source : le Pavillon Architectures

Deux états de surface différents sont observés sur la colonne 15 : une surface peu poreuse et relativement indurée, ici appelée zone saine, et une surface qui poudroie, nommée zone altérée.

Au vu de ce constat, il a été décidé sur site de tester les deux formulations de compresses sur chacune de ces surfaces. De ce fait, le nombre de dosages des sels solubles initialement prévu à 20 a été porté à 24, et ce sans induire d'incidence sur la mission initialement prévue.

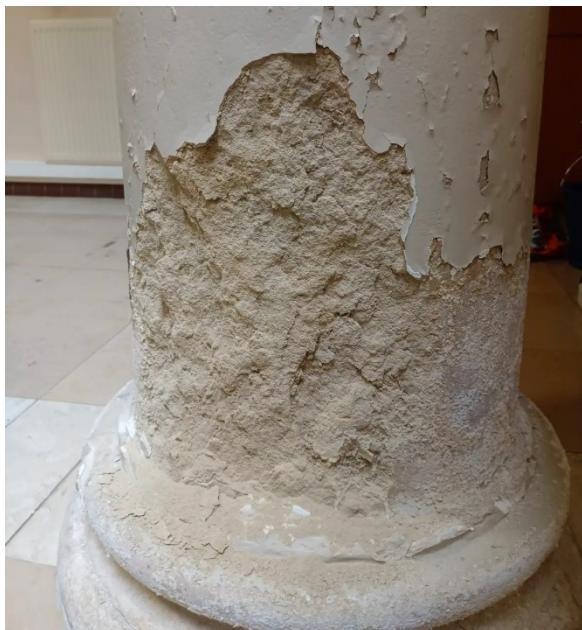
En zone dite altérée, il est constaté la présence :

- De pulvérulences importantes ;
- De pertes de matières notables.

En zone dite saine, il est constaté la présence :

- De cristallisations salines en surface ;
- D'une induration surfacique et d'une porosité moins accessible.

Les figures ci-après illustrent les zones décrites ci-avant.



Zone dite altérée



Zone dite saine

L'objectif principal de cette étude est ainsi d'évaluer l'efficacité du traitement de dessalement ainsi que la préparation préalable de la surface (dépoussiérage, élimination des encroûtements salins) et sa faisabilité. Il s'agit également d'identifier les traitements préventifs à éventuellement appliquer à la pierre affectée, tels que la pré-consolidation ou la pose de solins.

Mise en œuvre des compresses

Composition des compresses

Mélange de la compresse à base de sépiolite

Compresse de fabrication artisanale réalisée sur site :

- 3 volumes de pulpe de cellulose Arbocel BW-40
- 1 volume de sable lavé Aquasand (tamisé à moins de 0,5 mm)
- 1 volume de Pansil 100 (sépiolite)
- 3,5 volumes d'eau déminéralisée soit 41 % en volume d'eau

Mélange de la compresse à base de kaolin

Compresse de fabrication artisanale réalisée sur site :

- 0,8 volume de kaolin A (Ceradel)
- 1 volume de pulpe de cellulose Arbocel BW-40
- 1 volume de sable lavé Aquasand (non tamisé : 0,3-1,2 mm)
- 2,1 volumes d'eau déminéralisée soit 43 % en volume d'eau

Les conditions climatiques étant très sèches (entre 40 % et 50 % de taux d'HR), il a été choisi d'augmenter les quantités d'eau dans les compresses pour que le séchage se fasse plus lentement.

Applications

Les applications ont été faites à la main sur près de 1 cm d'épaisseur. Les compresses ont été pressées contre la surface, puis lissées ensuite à la spatule. Les dimensions des zones d'application sont de 17 × 8 cm, soit 136 cm².

Les textures après gâchage (2^{ème} passe) sont illustrées ci-après.



Comresse à base de sépiolite

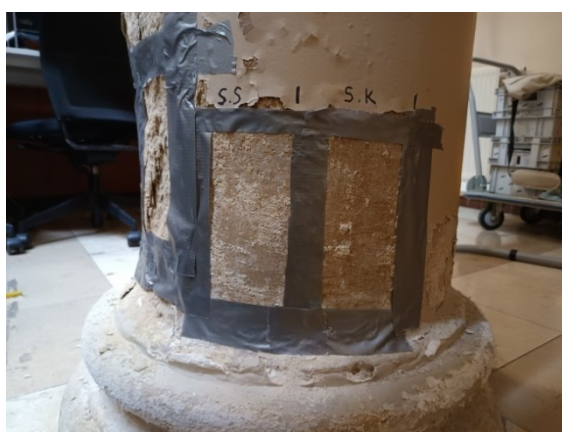


Comresse à base de kaolin

Les clichés ci-après illustrent les différentes étapes de mise en œuvre des compresses.



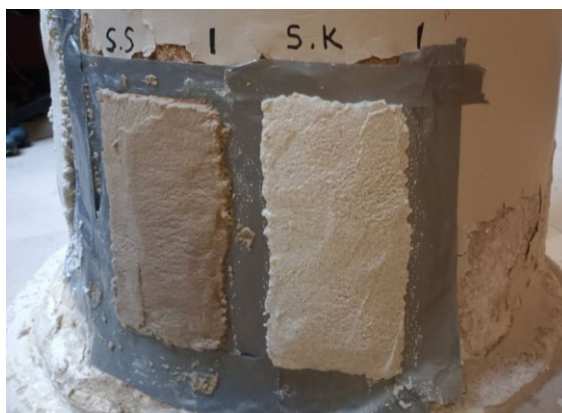
Zone altérée – état 0 (avant application)



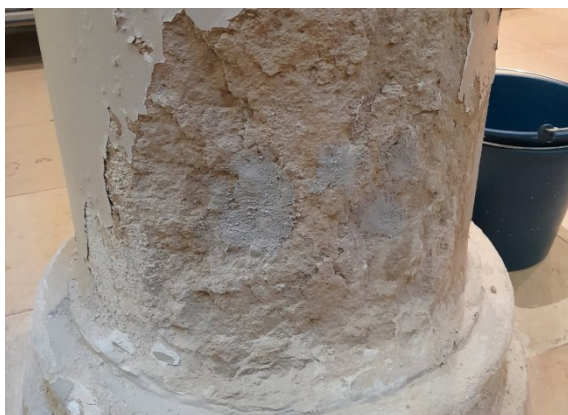
Zone saine – état 0 (avant application)



Zone altérée – 1^{ère} application



Zone saine – 1^{ère} application

Zone altérée – 2^{ème} applicationZone saine – 2^{ème} application

Zone altérée – après retrait et comblement



Zone saine – après retrait et comblement

Observations au cours des applications

Compresse à base de sépiolite

- > Elle présente une bonne maniabilité.
- > Le retrait au séchage est important lors de la 1^{ère} application. Dans la 2^{ème} passe, il a été retiré 200 ml d'eau, ce qui semble avoir diminué ce retrait.

Compresse à base de kaolin

- > D'une manière générale, cette compresse a moins de retrait au séchage et est plus facile à charger en épaisseur.
- > Elle présente une bonne maniabilité.

Il est à noter que le comportement des compresses au séchage a été différent suivant les surfaces traitées :

- > Sur la surface altérée, elles provoquent un arrachement important de l'épiderme de la pierre. L'application de solins préalables ou une éventuelle purge serait nécessaire, notamment pour les compresses à base de kaolin.
- > Sur les surfaces saines comme altérées, un blanchissement de la pierre est observé après l'application de kaolin, en raison des résidus laissés par ce dernier.

Analyses en laboratoire

Dosages des sels solubles des éléments de sols

En complément du précédent diagnostic décrit dans le rapport E024-001-02-A, des dosages de sels ont été réalisés dans différents horizons du sol du tribunal afin de déterminer si les chlorures, les nitrates, le sodium et le potassium présents abondamment dans les colonnes proviennent des remontées capillaires.

Le programme d'analyses chimiques a consisté aux dosages des anions (sulfates, nitrates, chlorures) et cations (sodium, potassium, calcium) dans les échantillons prélevés dans le sol par la société CORREA (opération réalisée du 14 au 17 février 2025) entre quatre profondeurs décrit comme suit :

Référence	Profondeur (cm)	Nature du sol
TC.SOL.1	10 à 30	Massif et brique foraine
TC.SOL.2	40 à 60	Brique foraine
TC.SOL.3	60 à 80	Brique foraine et fondation mur galets
TC.SOL.4	90 à 120	Fondation mur galets et terre

Note : les informations ci-dessous sont retranscrites sur la base des informations fournies par la société CORREA.

Pour comparer rigoureusement les autres teneurs obtenues dans le présent dossier et même si, ici, les échantillons ne sont pas des pierres de construction, l'extraction des sels solubles a également été réalisée selon le protocole de la norme NF EN 16455 : « *Conservation du patrimoine culturel - Extraction et détermination des sels solubles dans la pierre naturelle et les matériaux associés utilisés dans le patrimoine culturel* ».

La solubilisation des phases est effectuée par agitation mécanique durant 72 heures minimum. Les dosages sont réalisés par chromatographie ionique après stabilisation de la conductivité mesurée.

Les résultats obtenus et exprimés en pourcentages massiques, sont reportés dans le tableau ci-après.

Réf. Échantillon	Profondeur	Chlorures (%)	Nitrates (%)	Sulfates (%)	Sodium (%)	Potassium (%)	Calcium (%)
TC.SOL.1	Terre (10-30 cm)	< 0,01	0,08	1,64	0,03	0,07	1,15
TC.SOL.2	Terre (40-60 cm)	< 0,01	0,05	0,02	0,02	0,09	0,34
TC.SOL.3	Terre (60-80 cm)	0,02	0,09	0,09	0,04	0,07	0,35
TC.SOL.4	Terre (90-120 cm)	< 0,01	0,03	< 0,01	0,02	0,04	0,41

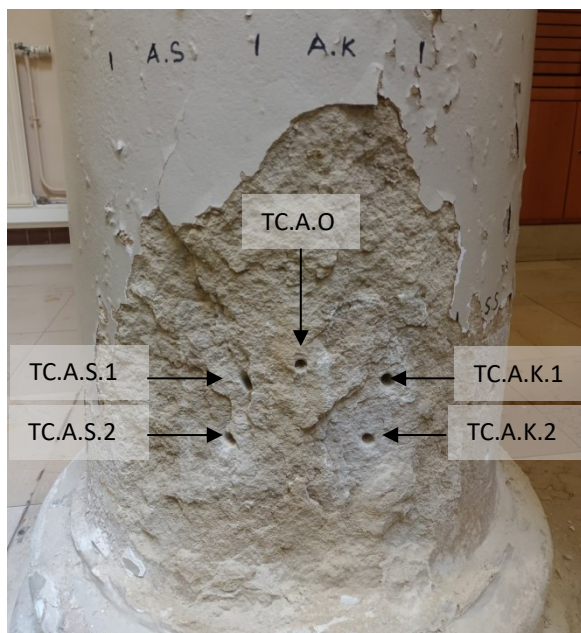
La lecture des résultats ci-dessus indique clairement que :

- > Le sol ne contient pas de fortes concentrations de sels ;
- > Seuls les sulfates sont clairement présents à faible profondeur et correspondent aux ions les moins présents dans les colonnes.

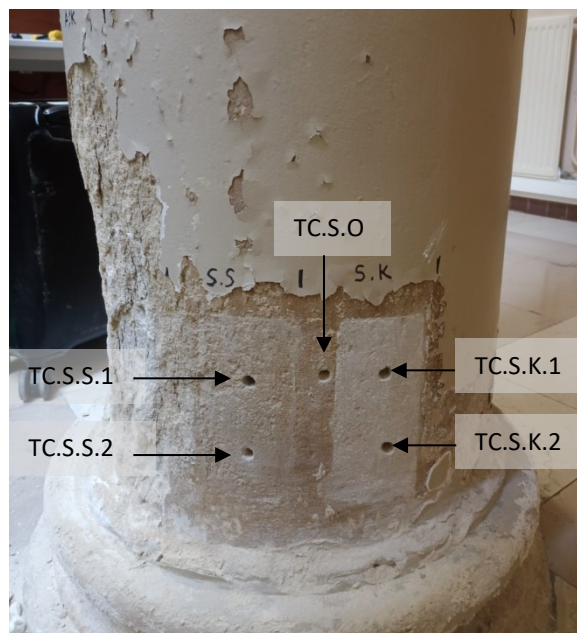
La contamination des colonnes ne semble donc pas s'expliquer par une migration de sodium, de potassium, de chlorures et de nitrates par remontées capillaires depuis le sol. Elle pourrait être liée à une période de l'histoire du bâtiment où celui-ci a eu une fonction de stockage. D'anciens traitements de restauration des colonnes pourraient également être en cause.

Analyses relatives aux essais de dessalement

Localisation des prélèvements



Zone altérée



Zone saine

Mesures de conductivité des compresses

La mesure de la conductivité d'une compresse consiste à évaluer la capacité de cette dernière à conduire l'électricité. Cette propriété est liée à la présence d'ions mobiles dans la compresse, en l'occurrence provenant du substrat à dessaler. La dilution des compresses pour leur analyse a été faite suivant le rapport de 10 grammes de compresse pour 100 grammes d'eau déminéralisée.

Les résultats de mesures obtenus sont présentés ci-dessous.

Étape	Zones	Compresse	Quantité (g)	Mesures après 24h (μS)	Différence (μS)
Avant	-	K.0	10 g / 100 g	35	-
		S.0	10 g / 100 g	80	-
Passe 1	Saine	S.K.1	10 g / 100 g	5540	5505
		S.S.1		> 6000	-
	Altérée	A.K.1	10 g / 100 g	> 6000	-
		A.S.1		> 6000	-
Passe 2	Saine	S.K.2	10 g / 100 g	1790	1755
		S.S.2		Compresse perdue	
	Altérée	A.K.2	10 g / 100 g	3460	3425
		A.S.2		5460	5380

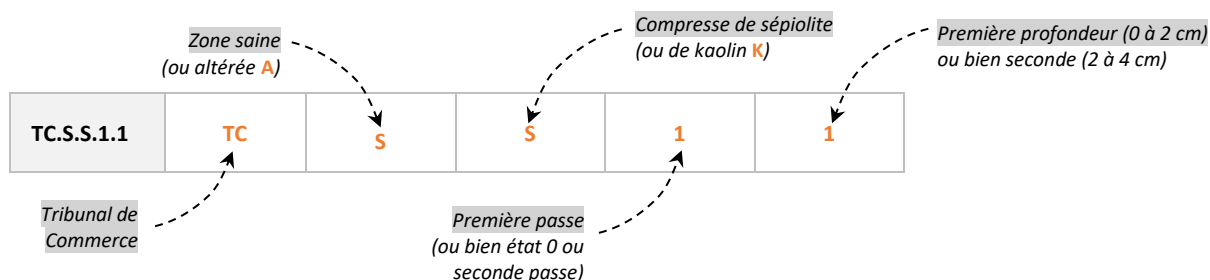
La lecture des résultats ci-dessus indique que :

- > Lors de la première application, les valeurs mesurées étaient extrêmement élevées, dépassant la capacité de l'appareil. Une grande quantité de sels était présente en surface. Un simple brossage à sec n'a pas suffi à les éliminer, ce qui explique ces taux particulièrement élevés.
- > Lors de la deuxième application, une compresse a malheureusement été perdue après être tombée (nettoyage régulier du sol), empêchant sa mesure. Toutefois, les résultats obtenus semblent permettre d'estimer que :
 - La compresse de sépiolite apparaît avoir une conductivité plus importante ;
 - L'extraction des sels est plus importante dans les zones altérées que dans celles dites saines.

Dosages des sels solubles dans la maçonnerie

Le programme d'analyses chimiques a consisté aux dosages des anions (sulfates, nitrates, chlorures) et cations (sodium, potassium, calcium) dans tous les échantillons prélevés par micro-forages à deux profondeurs : 0 à 2 cm et 2 à 4 cm. L'extraction des sels solubles a été réalisée selon le protocole de la norme NF EN 16455 : « Conservation du patrimoine culturel - Extraction et détermination des sels solubles dans la pierre naturelle et les matériaux associés utilisés dans le patrimoine culturel ». La solubilisation des phases est effectuée par agitation mécanique durant 72 heures minimum. Les dosages sont réalisés par chromatographie ionique après stabilisation de la conductivité mesurée.

Les résultats obtenus et exprimés en pourcentages massiques, sont reportés dans le tableau ci-après. Afin d'appréhender au mieux ce tableau, voici un exemple de construction de dénomination d'un échantillon.



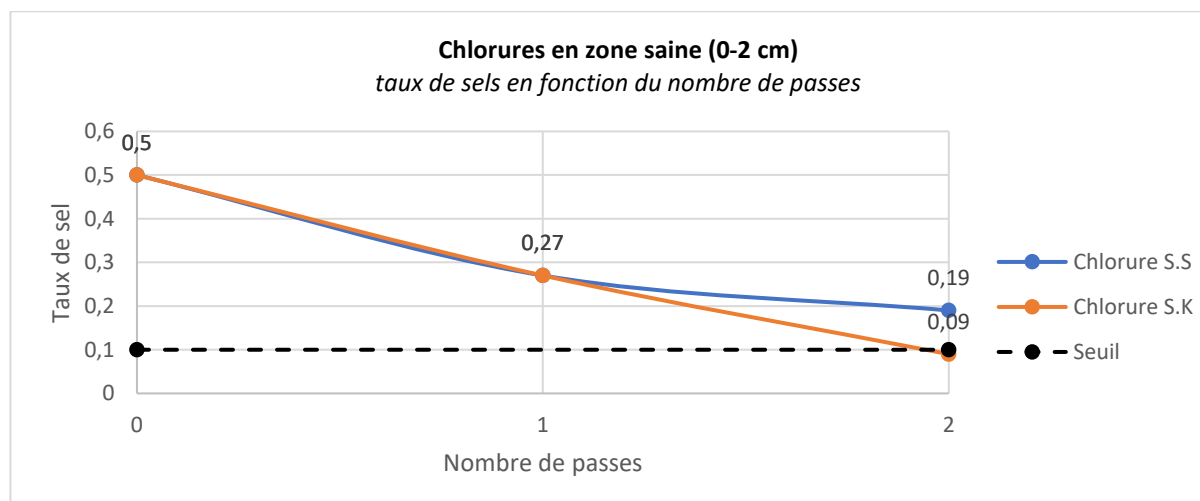
Réf. Échantillon	Profondeur	Chlorures (%)	Nitrates (%)	Sulfates (%)	Sodium (%)	Potassium (%)	Calcium (%)
TC.S.0.1	(0-2 cm)	0,50	1,22	0,07	0,44	0,16	0,54
TC.S.0.2	(2-4 cm)	0,22	0,81	0,02	0,16	0,14	0,50
TC.S.S.1.1	(0-2 cm)	0,27	1,01	0,09	0,18	0,18	0,68
TC.S.S.1.2	(2-4 cm)	0,28	1,12	0,02	0,19	0,19	0,51
TC.S.S.2.1	(0-2 cm)	0,19	0,68	0,11	0,13	0,13	0,58
TC.S.S.2.2	(2-4 cm)	0,25	0,98	0,08	0,17	0,18	0,52
TC.S.K.1.1	(0-2 cm)	0,27	0,58	0,06	0,20	0,10	0,42
TC.S.K.1.2	(2-4 cm)	0,31	1,08	0,06	0,24	0,19	0,52
TC.S.K.2.1	(0-2 cm)	0,09	0,25	0,15	0,07	0,05	0,44
TC.S.K.2.2	(2-4 cm)	0,17	0,56	0,04	0,13	0,10	0,44

Réf. Échantillon	Profondeur	Chlorures (%)	Nitrates (%)	Sulfates (%)	Sodium (%)	Potassium (%)	Calcium (%)
TC.A.0.1	(0-2 cm)	0,60	2,36	0,03	0,40	0,37	0,81
TC.A.0.2	(2-4 cm)	1,07	2,67	0,02	0,80	0,37	0,76
TC.A.S.1.1	(0-2 cm)	0,66	1,73	0,02	0,50	0,28	0,78
TC.A.S.1.2	(2-4 cm)	0,54	2,06	0,02	0,34	0,34	0,68
TC.A.S.2.1	(0-2 cm)	0,47	1,62	0,03	0,35	0,31	0,58
TC.A.S.2.2	(2-4 cm)	0,46	1,90	0,04	0,28	0,35	0,81
TC.A.K.1.1	(0-2 cm)	0,74	2,13	0,02	0,56	0,34	0,89
TC.A.K.1.2	(2-4 cm)	0,39	1,65	0,02	0,24	0,28	0,66
TC.A.K.2.1	(0-2 cm)	0,30	1,55	0,03	0,22	0,30	0,64
TC.A.K.2.2	(2-4 cm)	0,41	1,78	0,05	0,25	0,32	0,79

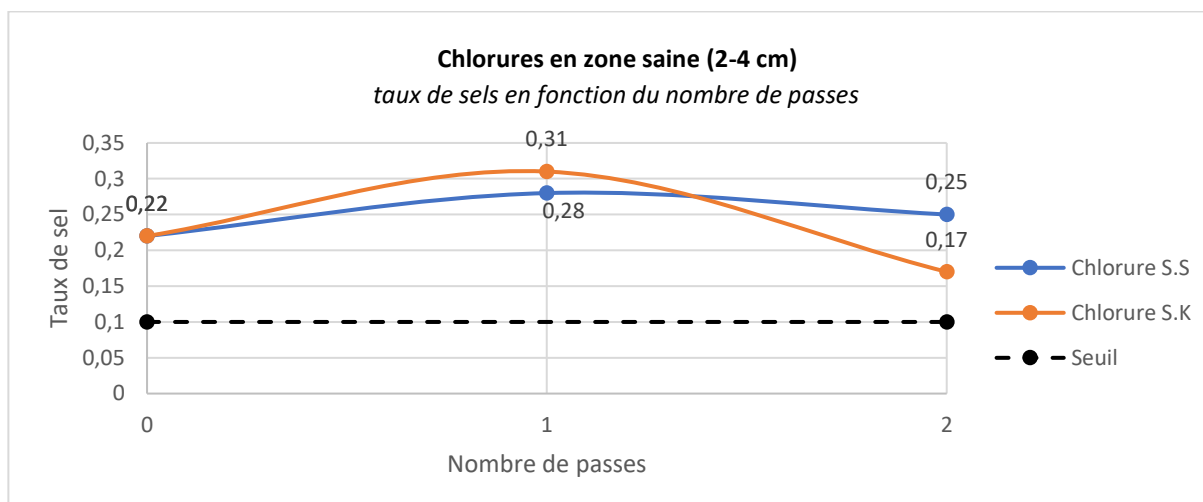
D'après les recommandations du fascicule technique « Ouvrages de maçonneries » Juin 2006, pour une bonne conservation, il est souhaitable de ne pas dépasser le seuil de **0,1 % pour les chlorures**, **0,5 % pour les nitrates**, 5 % pour les sulfates provenant du gypse (sulfate de calcium) et **0,1 % pour les sulfates** associés à du sodium, potassium, magnésium, etc. Ces valeurs indicatives ne sont que des valeurs moyennes et varient en fonction de la nature des sels présents, de celle des matériaux et notamment de leur espace poral.

Les résultats des dosages sont exposés ci-dessous sous forme graphique. Ces graphiques sont présentés sous la forme de taux de sels (chlorures ou nitrates) en fonction du nombre de passes et affichent la performance des deux compresses. Le seuil des recommandations du fascicule technique *Ouvrages de maçonneries* (Juin 2006) est indiqué pour le type de sels concerné. Les graphiques suivent tout d'abord l'évolution en zone, puis selon le type de sel, puis enfin selon la profondeur.

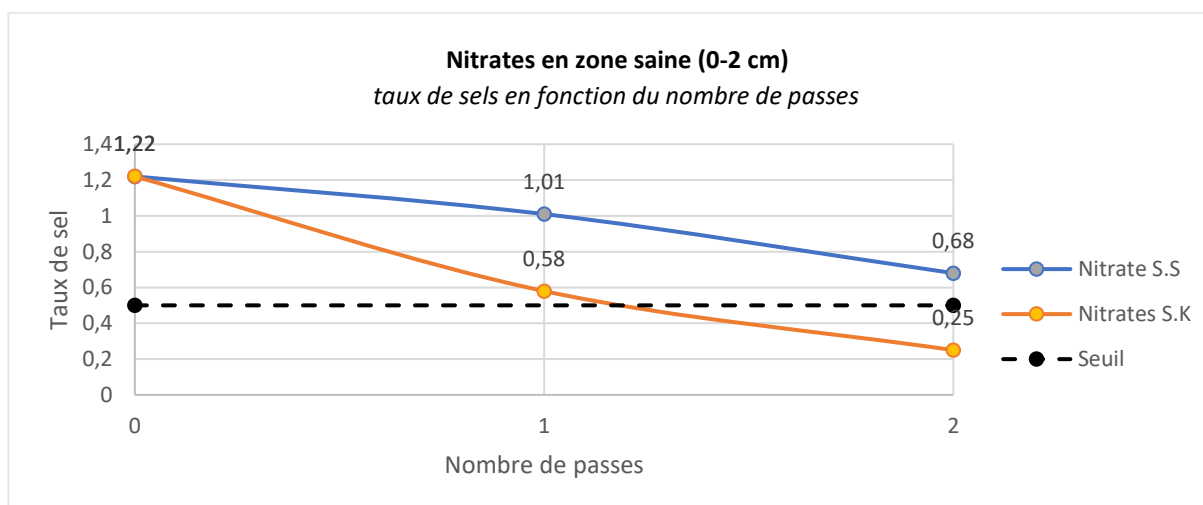
Dosage des sels en zone saine



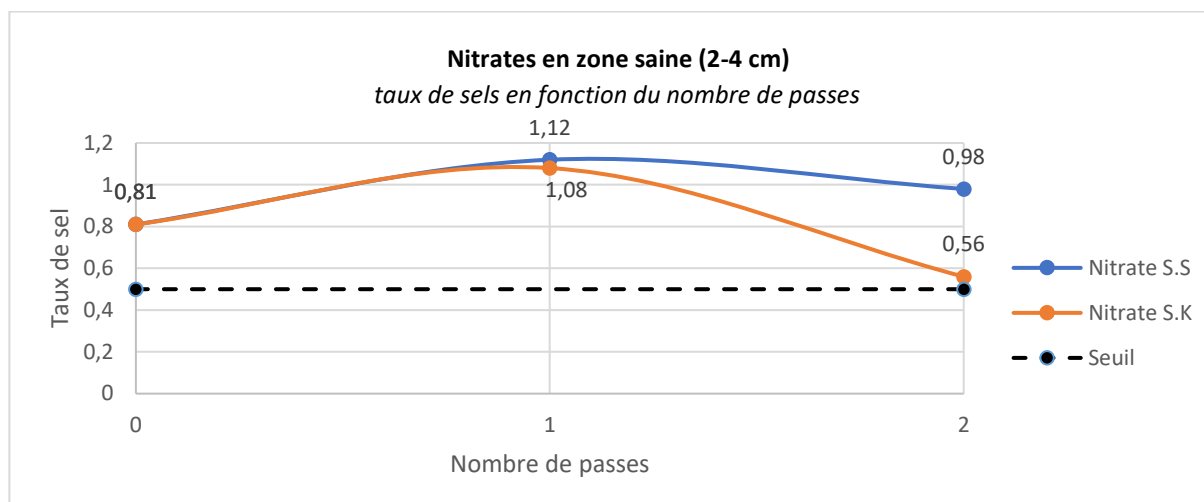
En épiderme, il reste 18 % des sels chlorurés originaux avec la compresse à base de kaolin contre 38 % pour la compresse à base de sépiolite. La compresse contenant du kaolin permet de passer sous le seuil admissible pour les chlorures.



En profondeur, il reste 77 % des sels chlorurés originaux avec la compresse à base kaolin. Concernant la compresse contenant de la sépiolite la contamination saline équivaut à 114 % de l'état initial. Aucune des compresses ne permet de passer sous le seuil admissible.

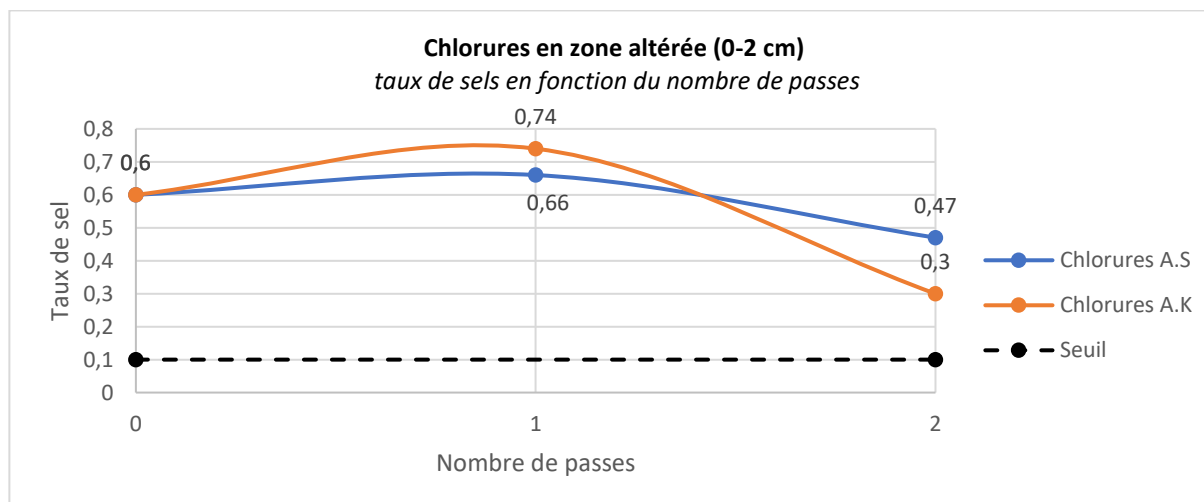


En épiderme, il reste 20 % des sels nitrés originaux avec la compresse au kaolin contre 56 % pour la compresse à la sépiolite. La compresse kaolin permet de passer sous le seuil admissible pour les nitrates.

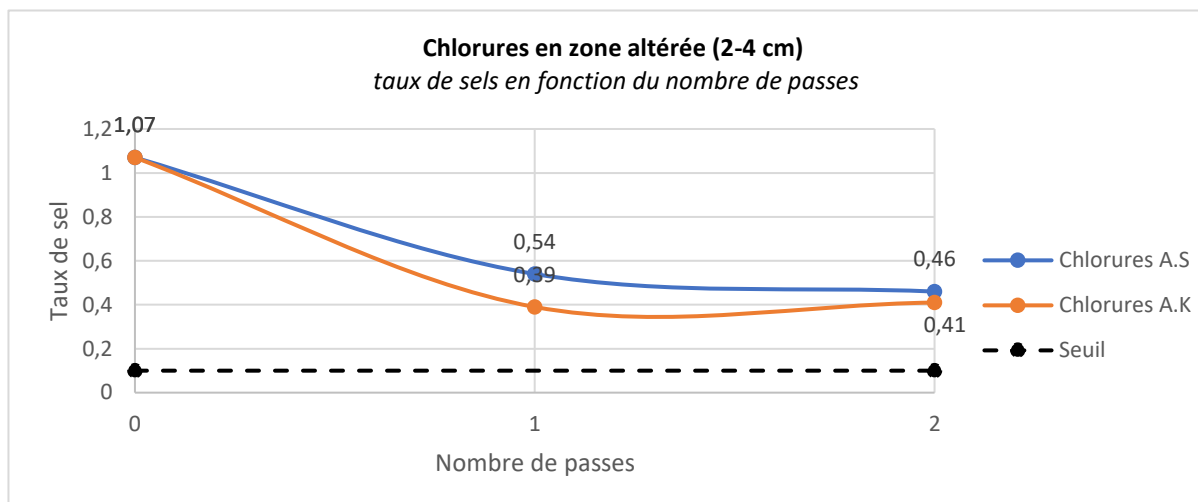


En profondeur, il reste 69 % des sels nitrates originaux avec la compresse à base kaolin. Concernant la compresse contenant de la sépiolite la contamination saline équivaut à 121 % de l'état initial. Aucune des compresses ne permet de passer sous le seuil admissible, bien que le résultat avec la compresse à base de kaolin s'en rapproche.

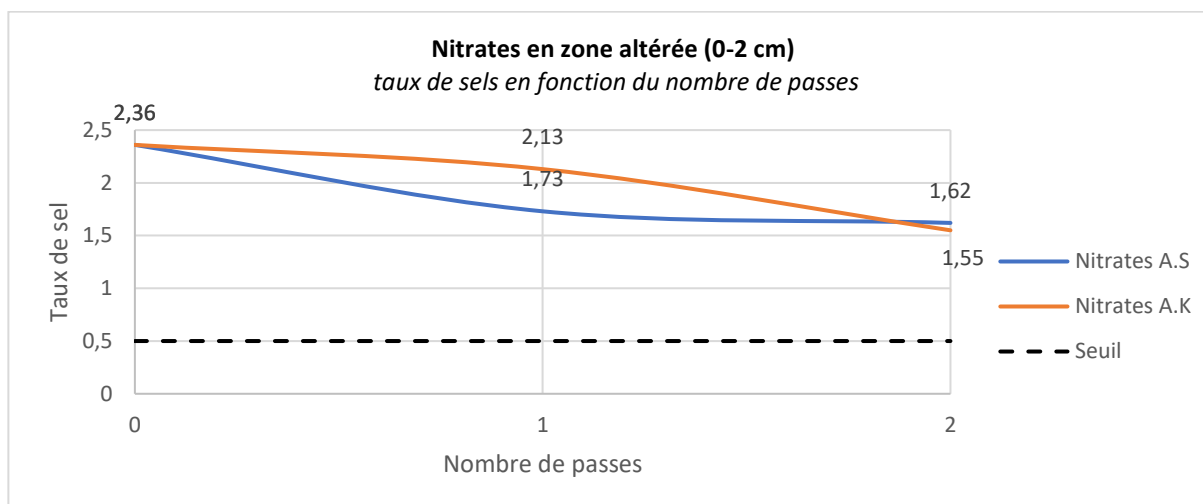
Dosage des sels en zone altérée



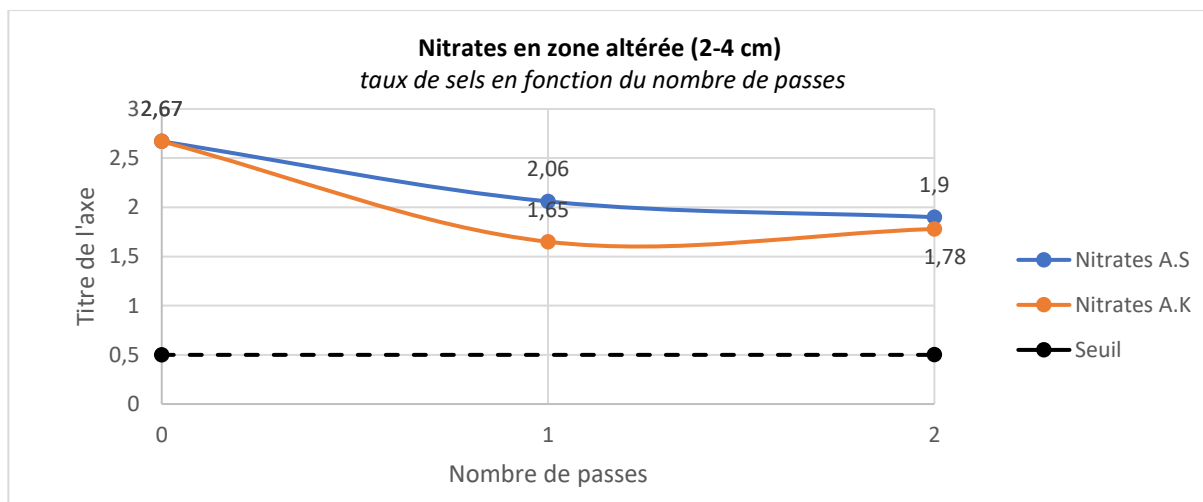
En épiderme, il reste 50 % des sels originaux avec la compresse au kaolin contre 78 % pour la compresse à la sépiolite. Aucune compresse ne permet de passer sous le seuil admissible pour les chlorures.



En profondeur, il reste 38 % des sels originaux avec la compresse à base de kaolin tandis qu'il reste 43 % de sel pour la compresse à la sépiolite. Aucune des compresses ne permet de passer sous le seuil admissible pour les chlorures.



En épiderme, il reste 66 % des sels originaux avec la compresse au kaolin contre 69 % pour la compresse à la sépiolite. Aucune compresse ne permet de passer sous le seuil admissible pour les nitrates.



En profondeur, il reste 67 % des sels originaux avec la compresse au kaolin tandis qu'il reste 71 % de sel pour la compresse à la sépiolite. Aucune des compresses ne permet de passer sous le seuil admissible pour les nitrates.

La lecture des résultats dans le tableau et les graphiques (ci-avant et complétés par d'autres reportés en annexe) indique que :

- > Pour l'état initial, les chlorures et les nitrates sont en plus grande quantité dans la zone altérée que dans la zone saine, en particulier en profondeur dans le cas des chlorures.
Toujours pour cette quantification d'étalonnage, les sulfates sont en faible quantité dans la zone altérée (< 0,1 %). Le sodium est présent en quantité similaire en épiderme, avec une présence nettement plus faible en zone saine et nettement plus élevée en profondeur dans la zone altérée.
Enfin, une présence de potassium et de calcium est notée dans les deux zones, bien que pour ce dernier, il soit plus détecté en zone altérée.
- > De manière générale, les valeurs mesurées sont plus faibles à toutes profondeurs après deux passes signifiant l'efficacité du procédé de dessalement. Pour une zone particulière, le taux est plus élevé après les deux passes qu'avant dessalement, ce qui suggère que les compresses attirent des sels plus en profondeur ou en périphérie, probablement en raison de la petite taille des zones testées. Pour plusieurs cas de figures, un pic de valeurs est observé après une passe, avant de baisser après la seconde, démontrant une mobilisation puis une extraction des sels en profondeurs.
- > Les taux d'absorption des compresses varient entre les zones. En zone saine, la compresse de kaolin a absorbé 80 % des chlorures et des nitrates en épiderme, contre 60 % de chlorures et 40 % de nitrates pour la compresse à base de sépiolite. En profondeur, cette dernière présente plus de sels absorbés, tandis que la compresse à base de kaolin a absorbé environ 25 % des chlorures et des nitrates. En zone altérée, 30 % des nitrates ont été absorbés, contre 50 à 60 % pour les chlorures, à l'exception de la compresse à la sépiolite en épiderme, qui n'a absorbé que 22 % des sels.
- > Concernant les valeurs obtenues par compresses, celle à base de kaolin présente une capacité de dessalement supérieure à celle de sépiolite, quel que soit le type de sel ou la zone traitée.

Synthèse des résultats

L'ensemble des résultats obtenus dans la présente étude est reporté et synthétisé ci-après.

Contamination du sol

- > Dans un premier volet et concernant l'étude de la **contamination du sol**, ce dernier ne présente pas de fortes concentrations de sels. Seuls les sulfates sont nettement présents à faible profondeur ; ils sont les ions les moins abondants dans les colonnes. L'origine des chlorures, des nitrates, du sodium et du potassium présents dans les colonnes ne semble donc pas à rechercher dans une pollution du sol par ces composés. Plusieurs hypothèses pourraient expliquer cette altération, elle pourrait être liée à une époque où le bâtiment servait de lieu de stockage de ce type de composés polluants. Par ailleurs, d'anciens traitements de restauration inadaptés des colonnes pourraient également en être la cause.

Composition et application des compresses

- > Deux types de compresses ont été fabriquées sur site : l'une à base de sépiolite et l'autre de kaolin. Les deux formulations contenaient également de la pulpe de cellulose et du sable lavé tamisé pour celle à base de sépiolite et non tamisé pour l'autre. Elles ont été appliquées manuellement sur des zones de 17 × 8 cm, avec une épaisseur d'environ 1 cm.
- > La compresse à base de sépiolite, bien que maniable, a présenté un retrait important au séchage qui a néanmoins pu être réduit en ajustant la quantité d'eau. Celle contenant du kaolin a montré moins de retrait et une meilleure application en épaisseur.
- > Sur les surfaces altérées, les compresses ont provoqué un arrachement de l'épiderme de la pierre, nécessitant une préparation préalable. L'application de kaolin a également entraîné un blanchissement de la pierre dû aux résidus laissés.

Résultats d'essais

Pour ce qui est des essais de dessalement, les éléments à retenir sont les suivants :

- > Les mesures de conductivité des compresses permettent d'évaluer sa capacité à conduire l'électricité et par déduction la présence d'ions. Les mesures révèlent dès la première application une concentration excessive en sels soit observée. Ces valeurs dépassent la capacité de mesure de l'appareil, ce qui est probablement dû à une surconcentration saline indurée en surface. Globalement, les résultats montrent que la compresse à base de sépiolite montre une conductivité plus importante et que l'extraction des sels est plus grande sur les zones altérées.
- > Dans l'état initial, les chlorures et nitrates sont plus abondants en zones altérées, surtout en profondeur pour les chlorures. Les sulfates y sont présents en faible quantité (< 0,1 %). La quantité de sodium est similaire en surface mais plus faible en zone saine et plus élevée en profondeur dans la zone altérée. Le potassium et le calcium sont présents dans les deux zones, avec une concentration plus marquée en zone altérée pour le calcium.

Les valeurs ici obtenues sont relativement concordantes avec celles obtenues lors de l'étude précédemment menée. En effet, celles de la zone dite saine correspondent à la frange basse et celles de la zone altérée correspondent à la frange haute des teneurs en anions et cations. Ces légères différences sont également cohérentes avec l'état de conservation observé. Seuls les sulfates détectés en des valeurs significatives ne le sont presque plus.

- > Les valeurs observées diminuent à toutes les profondeurs après deux passes, confirmant l'efficacité du dessalement. Toutefois, certaines zones présentent des taux plus élevés après traitement, suggérant une migration des sels en profondeur ou en périphérie. Ces observations pourraient signifier une attraction des sels présents plus profondément ou en périphérie, en raison de la faible surface testée ; ce qui confirme ainsi une contamination importante et généralisée.
- > Un pic après une passe, suivi d'une baisse après la seconde, indique un apport d'eau suffisant permettant une mobilisation puis une extraction des sels.
- > Les taux d'absorption varient selon les zones. En zone saine, la compresse à base de kaolin capte 80 % des chlorures et des nitrates en épiderme, contre 40 % à 60 % pour la sépiolite. En profondeur et en zone dite altérée, les compresses absorbent environ 30 % des nitrates et entre 50 et 60 % des chlorures, à l'exception de la compresse contenant de la sépiolite en épiderme qui n'atteint que 22 % d'absorption.
- > Les compresses à base de kaolin offrent un meilleur dessalement que celles à base de sépiolite, indépendamment du type de sel ou du type de zone traitée. Enfin, deux passes ne suffisent pas à atteindre les seuils d'acceptabilité, mais permettent de s'en approcher.

Pour conclure, les mesures de conductivité et de quantification en état initial, confirment une concentration élevée en sels. Cette concentration est particulièrement importante en zone dite altérée. De manière générale elle semble être corrélée au niveau d'altération observable visuellement. L'efficacité du dessalement est prouvée après deux passes, bien que certains sels résiduels migrent depuis la profondeur.

La formulation de compresse à base de kaolin se montre plus performante que celle à base de sépiolite pour l'extraction des sels. Toutefois, deux applications ne suffisent pas à atteindre les seuils d'acceptabilité. En revanche, elles permettent de s'en approcher.

Le dessalement devra être généralisé à l'ensemble des colonnes par précaution et le nombre de passes nécessaire, qui sera a minima de trois, devra être adapté au niveau d'altération observé.

Document rédigé par :

Alexis Texier – Ingénieur chargé d'étude
Célia Santi – Conservatrice-restauratrice
Paul Libert – Chargé d'étude

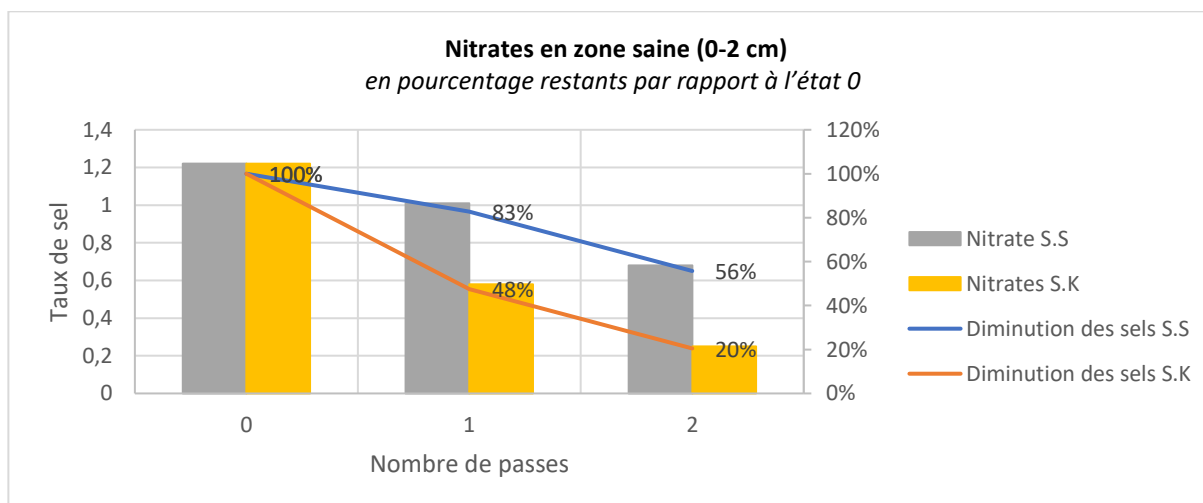
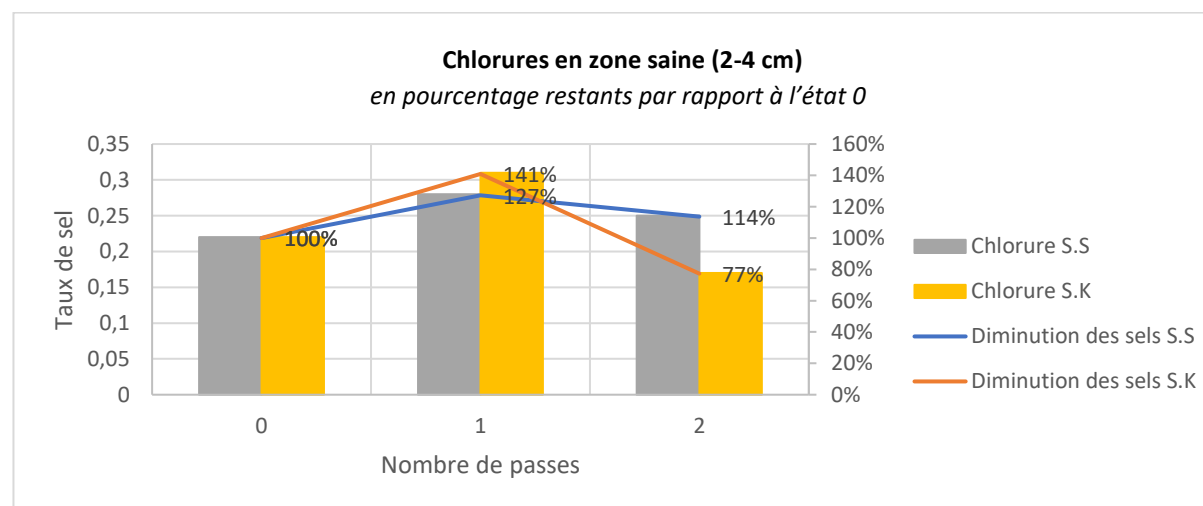
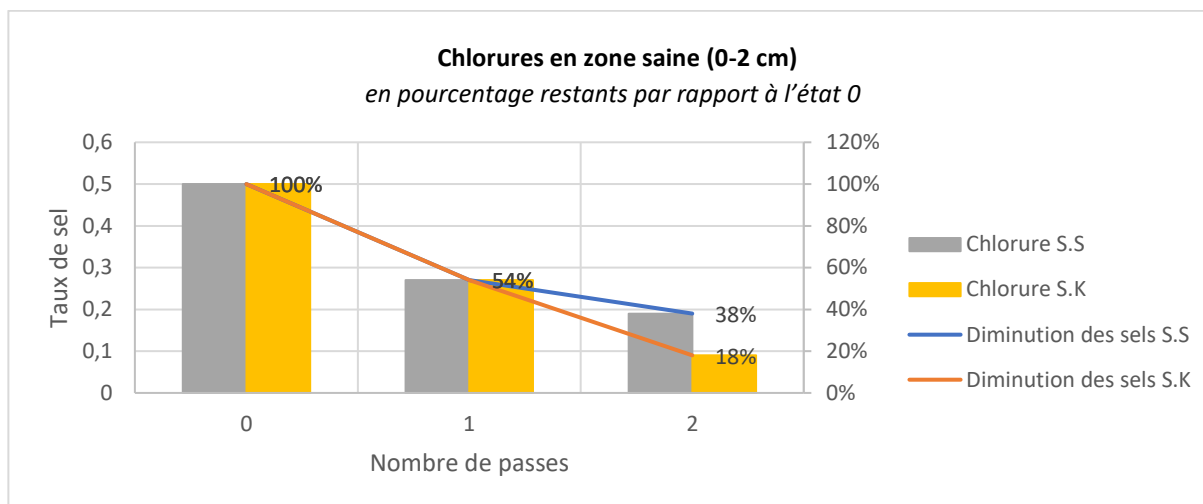
Avec le concours de :

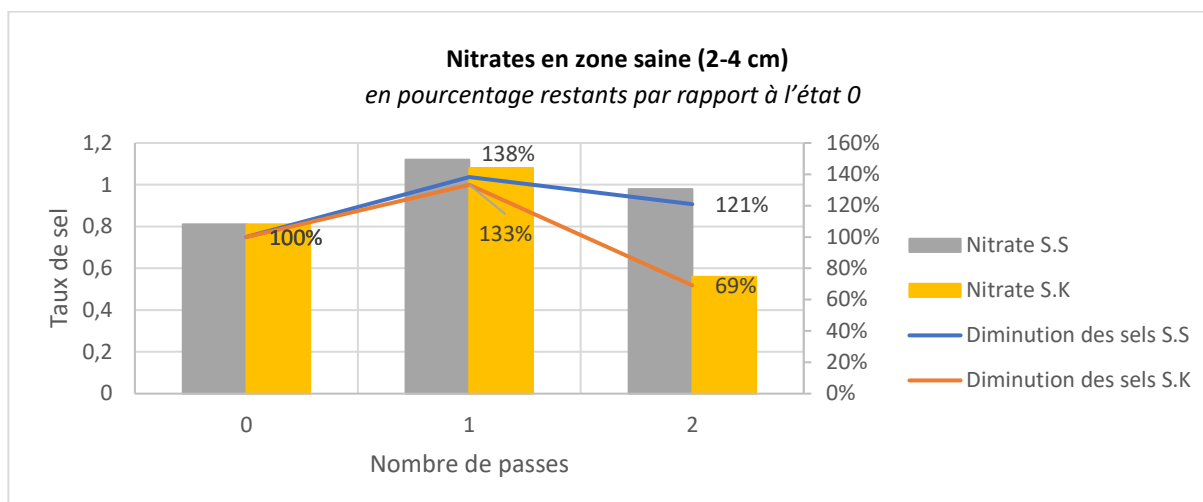
Gilles Martinet – Docteur en géosciences
Laetitia Bertrand – Assistante de direction

Ce document a été diffusé sous format PDF à l'agence le Pavillon Architectures, le 21 mars 2025.

Annexe

Dosage des sels en zone saine



**Dosage des sels en zone altérée**