

---

# Construction sur sols potentiellement gonflants (Cas de la ville d'in-aménas)

**Mustapha Kebaili\*** — **A. Zenkhri\*\***

\* Université d'Ouargla, [m\\_kebaili@yahoo.fr](mailto:m_kebaili@yahoo.fr)

\*\* Faculté de Génie Civil (USTHB, Alger), [zenkhriazak@yahoo.fr](mailto:zenkhriazak@yahoo.fr)

---

*RÉSUMÉ. La région d'In-aménas est réputée pour ses sols potentiellement gonflants. Le cadre climatique et environnemental de la région favorise la manifestation de dégradations dues au gonflement du sol. D'une autre part, les techniques pratiquées pour remédier au phénomène de gonflement du sol ne donnent pas satisfaction. Le besoin d'urbanisation est devenu capital, mais confronté à des embarras issus de la nature fort-expansive du sol.*

*L'étude élaborée explique, quelque peu, l'échec de plusieurs techniques de construction sur le sol d'In-aménas. Elle propose un système de fondations pouvant servir d'issue à la problématique en question. Une conception architecturale un peu particulière est nécessaire. La valeur ajoutée au prix de revient de structures à usage d'habitation et industriel, en considération des réformes prescrites, est inférieure à 4%.*

*ABSTRACT. In-aménas region is recognized for its high swelling soils. The climatic and environmental situation of this region leads to damages resulting from soil swelling. On the other hand, performed techniques to resolve the soil swelling problem have not fulfilled the expected purposes. The urban requirement has become very essential, however face up to many difficulties resulting from the high-swelling soil character.*

*The present study explains, somewhat, many techniques failure of building on In-aménas soil. It proposes a foundation system that can lead to resolve the actual problem. An architectural conception, a bit particular, is required. The added-value of living and industrial structures, in consideration of the recommended changes, is less than 4%.*

*MOTS-CLÉS: In-aménas, Sol gonflant, Environnement, Solution*

*KEYWORDS: In-amenas, Swelling soil, Environment, Solution*

---

## 1. Introduction

In-aménas est au cœur de la région pétrolière du plateau de Zarzaitine. Située à 1500km au SSE de la capital Alger et à quelques dizaines de kilomètres de la frontière Libyenne, In-aménas est reconnue disposer d'un potentiel géostratégique et économique assez bien important. Le nombre de gisements hydrocarbures et le volume des productions extraites-en témoignent de cette importance. Malheureusement, les programmes de développement urbain et socio-économique ont visiblement échoué pour cause de la nature fort-expansive du sol. La raffinerie de pétrole, construite puis démontée pour moins de trois années de fonctionnement, est un des exemples attestant des conséquences désastreuses du gonflement du sol sur les structures civiles et industrielles. L'exemple de la raffinerie est revécu, de façon plus ou moins similaire, à chaque projet de réalisation de structure urbaine ou industrielle.

Face à ce défi, la recherche de solutions de construction sur ce type de sol est devenue une nécessité capitale dans l'objectif de pouvoir urbaniser et profiter des capacités industrielles existantes à In-aménas. Aussi, les techniques de construction pratiquées dans le monde ont été tentées dans l'espoir de mettre fin au problème vécu. Les efforts techniques prodigués durant trois décennies n'ont pas donné de résultats satisfaisants, ni même pas acceptables. Pourtant, les moyens financiers ont été assez éminents. La justification de l'échec se résumait à dire que le sol d'In-aménas est trop fortement expansif, voire « particulier » en son genre. Les moyens techniques et financiers à mettre en œuvre sont prévus beaucoup plus grands que l'usuel. La rentabilité économique des ouvrages projetés devait être analysée, et les risques estimés.

## 2. Techniques pratiquées

Dans le monde, les techniques remèdes à l'encontre du phénomène de gonflement des sols expansifs se répertorient en deux catégories: celles appliquées à la superstructure pour l'adapter au sol et celles tendant au traitement du sol support pour le rendre moins gonflant.

L'adaptation de la superstructure au comportement gonflant du sol support implique l'une ou l'autre des dispositions:

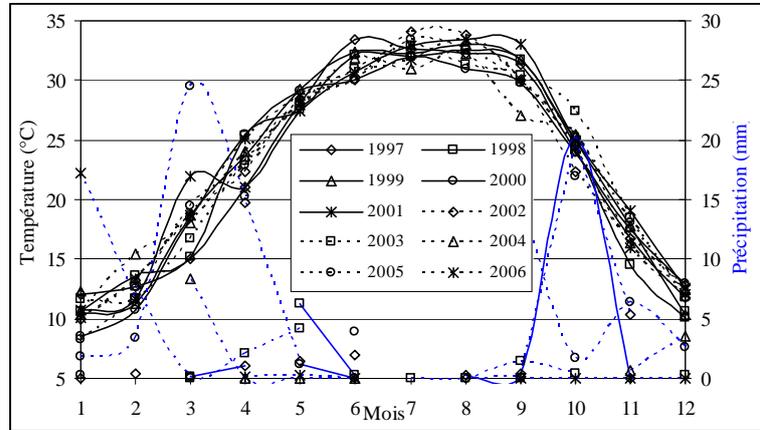
- *Renforcement de l'ossature de la bâtisse* de sorte que le gonflement du sol provoque un soulèvement en bloc de celle-ci. Ceci consiste en des dispositions de rigidification, de surdimensionnement et de forme à grande inertie. Si le soulèvement en bloc est assuré, les désordres occasionnés seraient admissibles. Dans les bases-vie des compagnies industrielles installées à In-aménas, les foyers des ouvriers constituent la quasi-majorité des bâtisses. Ils sont réalisés en baraques préfabriquées de bois. Ces dernières possédant un support en structure rigide, le mouvement différentiel du sol est résolu par simple mise en place de cales. La

baraque est soulevée au moyen d'un vérin au(x) coin(s) requis et des cales ajustées sont mises en place pour remettre la bâtisse à l'horizontale. Le problème est si vite et si parfaitement résolu. La même astuce n'est, malheureusement, pas faisable pour le cas de structures complexes.

- *Augmentation de la flexibilité de la structure* au point d'encaisser les déformations du sol sans montrer de désordres inadmissibles. Cette alternative renferme un ensemble de dispositions constructives telles que choix de matériaux de construction de type déformable, discrétisation de la structure par inclusion de joints de rupture et mise en place d'une couche de recouvrement en matériaux poreux sous-jacente à la superstructure. Cette démarche peut convenir à des structures peu élevées à planes telles que les routes.

Le traitement du sol de fondation consiste à réduire au mieux le gonflement de ce dernier. La substitution de la couche de sol expansive par un sol non expansif et les dispositions préventives contre l'humidification du sol sont comptées parmi cette catégorie de techniques. En effet, lors que le sol est protégé contre l'humidité, son gonflement est improbable (Chen, 1988). L'étanchement du sol se fait généralement au biais de géomembranes ou de géomatériaux synthétiques.

Le traitement proprement dit est l'ajout de produits chimiques ou de matériaux au sol dans l'objectif de stabiliser ce dernier. Parmi les matériaux utilisés pour cette fin se distinguent: la chaux, le ciment, les sels et le sable. Ces traitements, considérés au service de la construction sur sols gonflants, ont dus être appliqués à In-aménas, mais n'ont pas donné de résultats réussis. Ceci pour cause principale des conditions géo-environnementales de la région d'In-aménas. En effet, le climat étant hyper-aride, la séquence chaleur/froid entre été et hiver favorise amplement le gonflement/retrait du sol. La figure 1 montre, à la fois, les températures moyennes mensuelles (le dôme central) et les précipitations mensuelles enregistrées durant la période 1997 à 2006 (reste des courbes à résultats souvent manquants ou nuls). Durant la longue période estivale, le sol se rétrécit et des fissures assez profondes s'y développent. A l'amorce des premières pluies torrentielles ou averses, les eaux pluviales pénètrent facilement dans les fissures et occasionnent un gonflement presque libre du sol. Les pluies sont rares et irrégulières, ce qui favorise le gonflement spectaculaire du sol par rapport à sont état contracté et sec.



**Figure 1.** Températures et précipitations moyennes à In-aménas (1997-2006)

Les observations météorologiques, au vu de la figure 1, attestent des conditions favorables au retrait et augmentation de la succion du sol durant la période chaude. Les précipitations sont très faibles en cumulées mais s'effectuent sous forme d'averses. Leur effet est parfaitement complémentaire à celui de la phase préparative de la période sèche. D'autres données météorologiques (ONM, 2007) indiquent un grand écart des températures entre jour et nuit durant la majeure partie de l'année. Cette spécificité du climat à In-aménas contribue, en outre, à la formation de microfissures sur la surface du sol. Ces dernières sont, par la suite, élargies et approfondies au fil des saisons. En profondeur, le sol subit moins l'effet du climat, ce qui permet la stabilité de son expansion. D'une autre part, l'état surconsolidé du sol rend très difficile le traitement par malaxage à la chaux ou au ciment. Ces traitements, même si soigneusement réalisés, sont sujets au lessivage compte tenu du régime des précipitations. En outre, le vent (caractéristique intrinsèque du régime climatique régnant à In-aménas) contribue au soufflage des terrains traités par malaxage. En vérité, ce traitement est à refaire à des intervalles réguliers de l'année pour assurer sa pérennité.

Mis à part les conditions climatiques défavorables aux traitements par malaxage, une part des dégradations occasionnées aux structures bâties à In-aménas est reconnue être due à des défauts de qualité de réalisation: inadéquation des bétons utilisés et faible dosage de ceux-ci, bas niveaux de construction (qualité des matériaux, malaxage, coffrage et coulage) et manque de services de suivi et contrôle des travaux de chantiers. Ces défauts sont considérés en marge de la présente investigation, mais leurs effets se combinent à ceux du gonflement du sol.

Enfin, la puissance de la formation géologique en sol expansif, à In-aménas, dépasse les 100m. Les solutions de fondations profondes visant à dépasser la couche gonflante sont inadéquates. De plus, leur coût est élevé devant le volume des structures à bâtir. Ce genre de solutions a été, à priori, écarté.

### 3. Solution proposée

#### 3.1. Analyse de l'existant

Les techniques ordinaires de construction sur sols expansifs, publiées dans le monde, semblent inadaptées au cas d'In-aménas. Des dispositions constructives plus efficaces sont onéreuses comparativement à l'importance des structures à bâtir. En vérité, le niveau de la plupart des études, géotechniques et de génie civil, effectuées à In-aménas, ainsi que la qualité des travaux de réalisation et d'entretien sont peu appréciés. Ceci constitue une part distinguée des dégâts occasionnés. Les figures 2 et 3 montrent un cas pathologique dû aux défauts de réalisation. Mais l'effet du gonflement du sol est incontestablement prouvé (Figures 4 et 5).

Par ailleurs, non seulement les conditions géo-environnementales sont réunies, à In-Aménas, en faveur du gonflement apprécié du sol, mais aussi les caractéristiques physiques et mécaniques de ce dernier sont typiquement caractéristiques d'un haut potentiel de gonflement. Mais d'une autre part, les besoins urbanistiques en matière de construction imposent un niveau moderne de structures génie civil et à prix, plutôt, modéré.



**Figures 2 et 3.** Dégradation de l'amorce-poteau due à l'absence d'armatures transversales (Site DP Sonatrach, 2007)



**Figures 4 et 5.** Dégradations typiques dues au gonflement du sol

### **3.2. Contexte philosophique**

L'inadéquation des techniques usuelles de construction sur sol gonflant est éprouvée à In-aménas. Une bâtisse ordinaire, et même quelque peu améliorée, ne s'adaptera jamais au comportement du sol ni ce dernier ne peut être rendu suffisamment peu expansif pour être tolérable. Les solutions recherchées devraient satisfaire l'alternative de permettre un gonflement « libre » du sol sans, pour autant, que la structure n'en subisse les effets (Kebaili, 2005). Les conséquences pratiques d'une telle spéculation seraient:

- d'éviter les dispositions visant à annuler ou à réduire le gonflement du sol: étanchéité, traitement, remplacement,...
- de bâtir sans objectif de renforcement ni de flexibilité de la structure. Ainsi, les répercussions financières sont épargnées.

C'est, vraisemblablement, un retour à l'usuel pour bâtir sans contraintes majeures ayant trait à la nature gonflante du sol. Ceci semble impossible pour In-aménas où les conditions géotechniques générales (climat, sol spécifique, puissance de la couche gonflante, ...) sont défavorables. De plus, les moyens financiers sont limités.

La présente étude propose une réponse à la problématique en question. La solution proposée est compatible avec les conditions géotechniques de la région d'In-aménas. Par principe, la solution proposée ne s'oppose pas au gonflement du sol ni impose à la superstructure d'admettre ce dernier.

### **3.3. Eléments d'orientation**

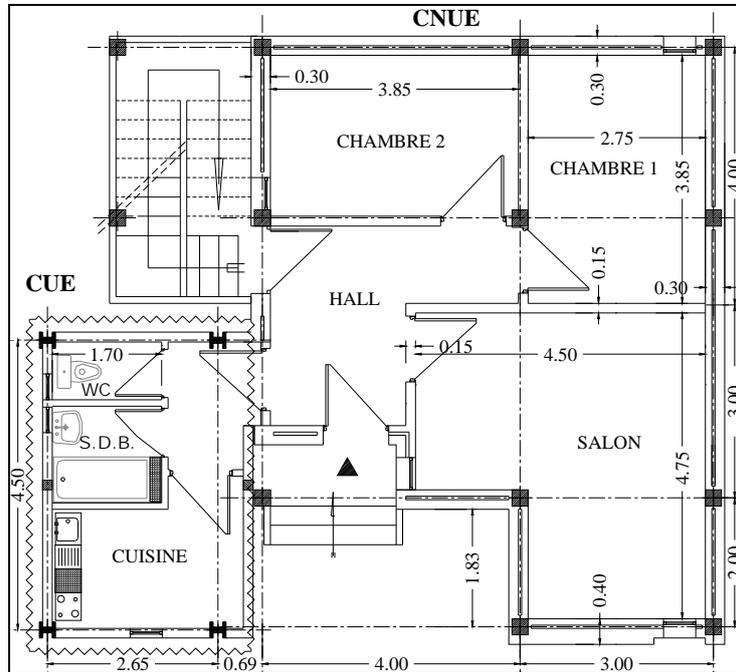
Par hypothèse, la superstructure est, quelque peu, ordinaire puisque non appelée à subir d'efforts indésirables de la part du sol. De même, le sol n'est pas gêné de gonfler. Logiquement, un organe intermédiaire doit jouer le rôle de « conciliateur ». Le système de fondation est le seul candidat pouvant prendre en charge cette mission. Explicitement, ce dernier doit être conçu de sorte que les sollicitations et mouvements engendrés par le gonflement du sol s'annulent (du moins s'atténuent) à son niveau. L'approche d'un tel objectif est répartie en trois principales opérations:

*1<sup>ère</sup> opération:* La première opération de la solution proposée est un ensemble de consignes préventives et de dispositions visant à éviter, passivement, l'expansion du sol. Un minimum d'étanchéité, des trottoirs périphériques légèrement penchés vers l'extérieur et un vide sanitaire sont des exemples de cette prévention.

*2<sup>ème</sup> opération:* La seconde opération consiste en une conception architecturale de la bâtisse quelque peu spéciale, en particulier lorsque la structure est à usage d'habitation. La solution propose de regrouper les salles utilisant l'eau (salle de bain, cuisine et toilettes,...) dans un même compartiment. Ce dernier est dénommé compartiment utilisateur d'eau (CUE). Le reste de l'habitation (chambres, salles de séjour, halls,...) est juxtaposé au CUE mais n'utilise pas d'eau. Il est dénommé

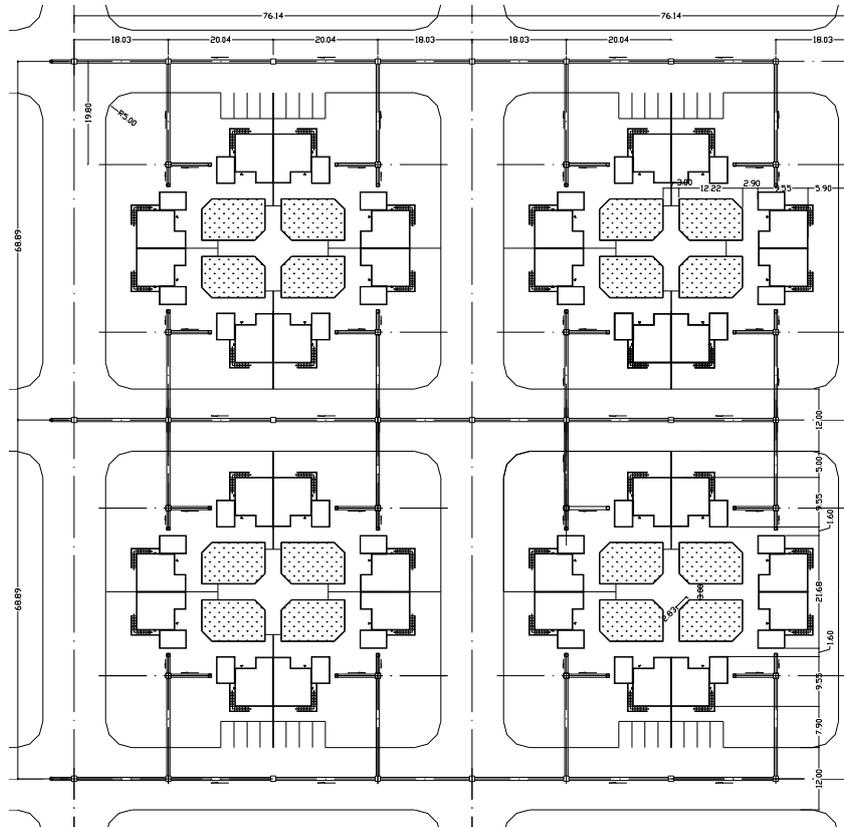
compartiment non utilisateur d'eau (CNUE). Un joint de rupture sépare les deux compartiments. La figure 6 montre un exemple d'aménagement de structure (R+1) à usage d'habitation en les compartiments CUE et CNUE. Une telle disposition permet d'isoler le gonflement pour ne se développer qu'au droit du CUE. Du fait qu'à In-aménas la majorité des eaux pouvant atteindre le sous-sol est due à l'utilisation domestique, Le CNUE est, dans une large mesure, protégé des eaux par simple mise en place d'écran d'étanchéité et d'un trottoir périphérique penché. La solution proposée est appliquée à seulement le CUE.

La disposition mitoyenne des deux compartiments permet, d'une part, l'utilisation sociale de la bâtisse en terme d'habitation, et d'autre part, le fonctionnement indépendant de ceux-ci vis-à-vis des mouvements probables. L'idée de subdivision de la bâtisse en CUE et CNUE est inspirée des anciens modes de construction où la conception domestique se résumait en un point d'eau entouré (mais à distance) des cellules d'habitation. En parenté à cette conception, les sources domestiques d'eau (WC, SDB, cuisine, ...) sont disposées les plus écartés au de la structure. L'alimentation en eau, l'utilisation de celle-ci et son assainissement se font sur la frontière de la structure (Figure 6). De même, le réseau de collecte des eaux usées est conçu de sorte à éviter, au mieux, des apports d'eau au sol support. Les organes et équipements utilisant l'eau (lavabo, cuvette de toilettes et baignoire) sont mis sur le parement extérieur du bloc sanitaire. La figure 7 montre une multiplication en lotissement de l'habitation indiquée en figure 6. Les raccordements des réseaux d'eau à l'intérieur de la structure sont choisis flexibles pour admettre les mouvements du CUE. Le réseau d'assainissement est aménagé le plus éloigné possible du CUE, et encore plus loin du CNUE.

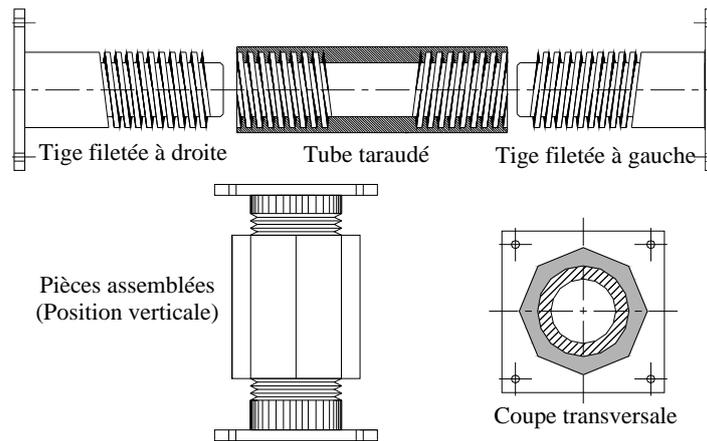


**Figure 6.** Aménagement architectural en CUE et CNUE (plan du RDC)

*3<sup>ème</sup> opération:* La troisième opération est l'introduction d'un dispositif permettant d'annuler la transmission des contraintes/déformations du sol vers la superstructure. La technique consiste en la mise en place d'un mécanisme d'ajustement de la

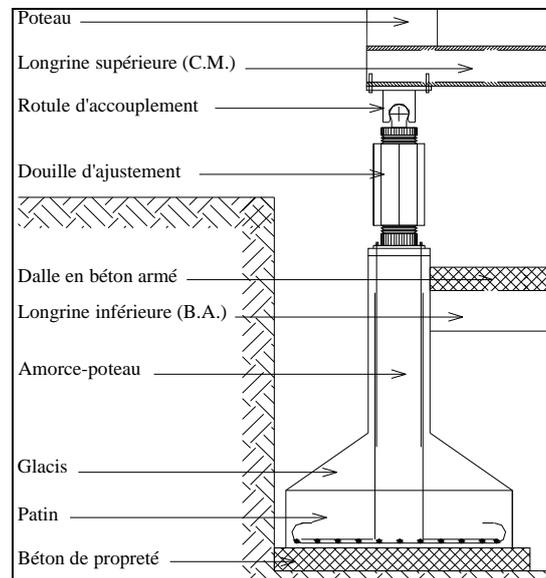


**Figure 7.** Plan d'aménagement pour AEP et assainissement



**Figure 8.** Vérin mécanique

hauteur des amorce-poteaux lorsque des mouvements du sol sont détectés. L'ossature du CUE est en charpente métallique, le remplissage en panneaux préfabriqués. Un tel choix rend le CUE prédisposé à tolérer de faibles déformations. Ces dernières peuvent, en effet, avoir lieu si un dysfonctionnement de la solution proposée survient. En outre, les panneaux ou éléments défectueux peuvent être remplacés en cas d'endommagement. Le dispositif d'ajustement est mis en place au niveau de l'infrastructure du CUE. C'est un mécanisme inspiré de la pièce mécanique dite douille de réglage: tube taraudé de façon inversée à ses extrémités et assemblé à deux tiges filetées (figure 8). La manœuvre de cette douille dans un sens (ou l'autre) produit le serrage (ou desserrage) des deux tiges filetées. L'ensemble peut être dénommé vérin mécanique. Ce dernier est mis en place sur la partie de l'amorce-poteau se trouvant dans le vide sanitaire du CUE (figure 9).



**Figure 9.** Mise en place du vérin mécanique

Le dimensionnement du vérin est facilement faisable en considérant la nuance de l'acier utilisé et les charges estimées pouvant se manifester sur l'amorce-poteau. Une rotule peut être montée en tête du vérin pour dissiper les efforts de distorsion ou de flexion pouvant se développer. La manœuvre du vérin s'effectue en compensation des mouvements verticaux du sol. La superstructure en est, donc, isolée. La détection des mouvements différentiels entre CUE et CNUE est possible via de simples techniques géométriques, topographiques, ou à l'aide de détecteurs électroniques. Pour ce faire, des témoins de déplacements sont fixés, de préférence, en plusieurs points sur les acrotères des deux compartiments. Des vérifications bimensuelles (ou même mensuelle) sont au point de permettre un suivi rigoureux des

mouvements relatifs entre les deux compartiments. Les vérins sont alors manœuvrés pour remettre les témoins à leurs emplacements initiaux.

Les calculs d'évaluation montrent qu'un vérin de 25cm de diamètre est largement suffisant pour reprendre les charges apportées par des structures ordinaires. Si, à titre d'exemple, un effort normal de 700kN est appliqué au vérin confectionné en acier doux de nuance Fe360, la section nette du profilé fileté est de 30cm<sup>2</sup>. Une tige de diamètre 6.25cm est suffisamment résistante pour reprendre les charges appliquées. Cependant, et afin d'assurer la stabilité vis-à-vis du flambement de la pièce, le diamètre retenu est proche des dimensions des poteaux ( $\approx$  25cm). Les autres caractéristiques géométriques de la tige ou tube fileté (épaisseur, type de filetage, pas, ...) sont liés au diamètre choisi et peuvent être trouvées dans la gamme des profilés normalisés.

#### **4. Avantages technico-économiques**

La faisabilité de la solution proposée au cas d'In-aménas étant théoriquement vérifiée, la présente section s'intéresse à la justification financière de celle-ci. Un jugement réaliste de l'efficacité, rentabilité et applicabilité de ladite solution n'est possible qu'après mise en œuvre de cette dernière. En outre, compte tenu des états désastreux des dégâts occasionnés aux structures à In-aménas, une quelconque solution « non coûteuse » serait la bienvenue puisqu'elle n'engendre pas davantage de dégâts.

Une étude comparative de devis, entre structures usuellement réalisées et ces mêmes structures augmentées de la solution proposée, est établie. L'objectif visé est l'évaluation de la valeur ajoutée (VA). C'est un paramètre clé pour l'acceptation de faisabilité. Deux exemples sont choisis en objet de la comparaison visée: une structure en béton armé à usage d'habitation (structure 1) et un hangar en charpente métallique (structure 2). Le tableau 1 résume les montants des opérations de réalisation par phase. Des articles tels que menuiserie, électricité, peinture et verrerie sont reconnus inchangés entre structure usuelle et structure amendée. De même, à la différence près du joint de rupture entre CUE et CNUE, la superstructure est quasi-identique entre le couple de structures 1 (usuelle et amendée). Pour le cas du hangar, le vérin peut être monté sur les poteaux mêmes. La manœuvre de ceux-ci devient alors confortable.

Le tableau 1 montre que les différences des prix sont constatées dans les articles relatifs à l'infrastructure, maçonnerie, enduits et revêtements, et plomberie. Les différences majeures sont dues à la mise en œuvre des murs en panneaux et des vérins. Les VA globales sont de 1.27% et 4.05% respectivement pour les couples de structures 1 et 2. Les VA sont prévues encore plus faibles si les travaux de réparation et de remise en état sont considérés. En effet, une structure comportant la solution proposée requière un entretien périodique pouvant être, à priori, évalué. La

même structure n'incluant pas cette solution est sujette à des dégradations à aspect aléatoire et dont les coûts de réparation sont estimés élevés.

Phases de réalisation	Structure d'habitation		Hangar	
	Ordinaire	avec solution	Ordinaire	avec solution
Infrastructure	653.240	699.613	1.318.000	1.534.000
Superstructure	1.233.700	1.668.800	3.787.500	3.787.500
Maç. + enduit + revêt.	2.000.178	1.563.858	16.000	16.000
Plomberie et sanitaire	113.700	132.300	180.900	212.900
Menuiserie	616.500	616.500	162.400	162.400
Électricité	128.550	128.550	407.650	407.650
Peinture	289.975	289.975	251.500	251.500,00
Total en TTC	$P_{\text{réf}}=5.035.843$	$P_1=5.099.596$	$P_{\text{réf}}=6.123.950$	$P_2=6.371.950$
Différence: $\Delta P = P_i - P_{\text{réf}}$	---	63.753	---	248.000
Différence: $\Delta P/P_{\text{réf}}$ (%)	---	1,266	---	4,05

**Tableau 1.** Devis comparatifs récapitulés

L'impact technico-économique de tels résultats comparatifs est intéressant. Le maître de l'ouvrage peut juger de l'opportunité de la technique proposée sur la base du rapport coût/qualité entre situations sans et avec solution. A rappeler, par ailleurs, que l'introduction de la solution n'affecte pas négativement la tenue des structures: même si, pragmatiquement, elle n'améliore pas, elle n'en nuit pas.

## 5. Conclusion

Les sols gonflants existent dans plusieurs régions de l'Algérie. Ceux de la région d'In-aménas sont réputés pour leur haut potentiel de gonflement. Les compagnies de reconnaissance géotechniques confirment toujours cette spécificité. Aussi, le caractère gonflant est considéré comme évident. Les études à vocation de reconnaissance sont de plus en plus économisées.

Cette même région est appelée au développement social et industriel compte tenu de ses grands gisements d'hydrocarbures. De nombreuses études de constructibilité sur le sol d'In-aménas ont été effectuées. Les dispositions proposées n'ont pas donné satisfaction à l'encontre du phénomène en question. En compensation, la présente étude propose une solution dénommée « à vérin d'ajustement » pour construction sur sols potentiellement gonflants. Celle-ci est conçue pour être applicables aux cas de gonflement les plus sévères. Son principe de base est d'isoler la transmission des mouvements du sol à la superstructure.

La solution proposée est subdivisée en phases: prévention, conception architecturale et perfectionnement structural. Les deux premières phases sont participatives à la solution sans induction de charges financières. La phase principale consiste à annuler continuellement les déformations dues au sol. Elle nécessite un

entretien plus ou moins fréquent selon la dynamique des déformations. Le mécanisme d'ajustement peut être démonté et remplacé, si nécessaire, sans aucune entrave. La technique indiquée est mécaniquement justifiée, les dispositions de bonne mise en œuvre étant supposées satisfaites.

L'évaluation financière comparative de structures, avec et sans la solution, dévoile l'opportunité économique des dispositions proposées. La valeur ajoutée relative à la solution proposée est de l'ordre de 1.3 % pour le cas d'un bâtiment à usage d'habitation, et d'environ 4% pour le cas d'une structure industrielle.

## **6. Bibliographie**

Annales de l'Office National de Météorologie (ONM), 1997 à 2007.

Chen F H., *Fundation on expansive soils*, Elsevier, 1988.

Kebaili, M., «Procédé CAIS en solution de construction sur sols gonflants» *Congrès sur la réhabilitation des constructions et développement durable*, Alger, 03-04 mai 2005, p.53-68.