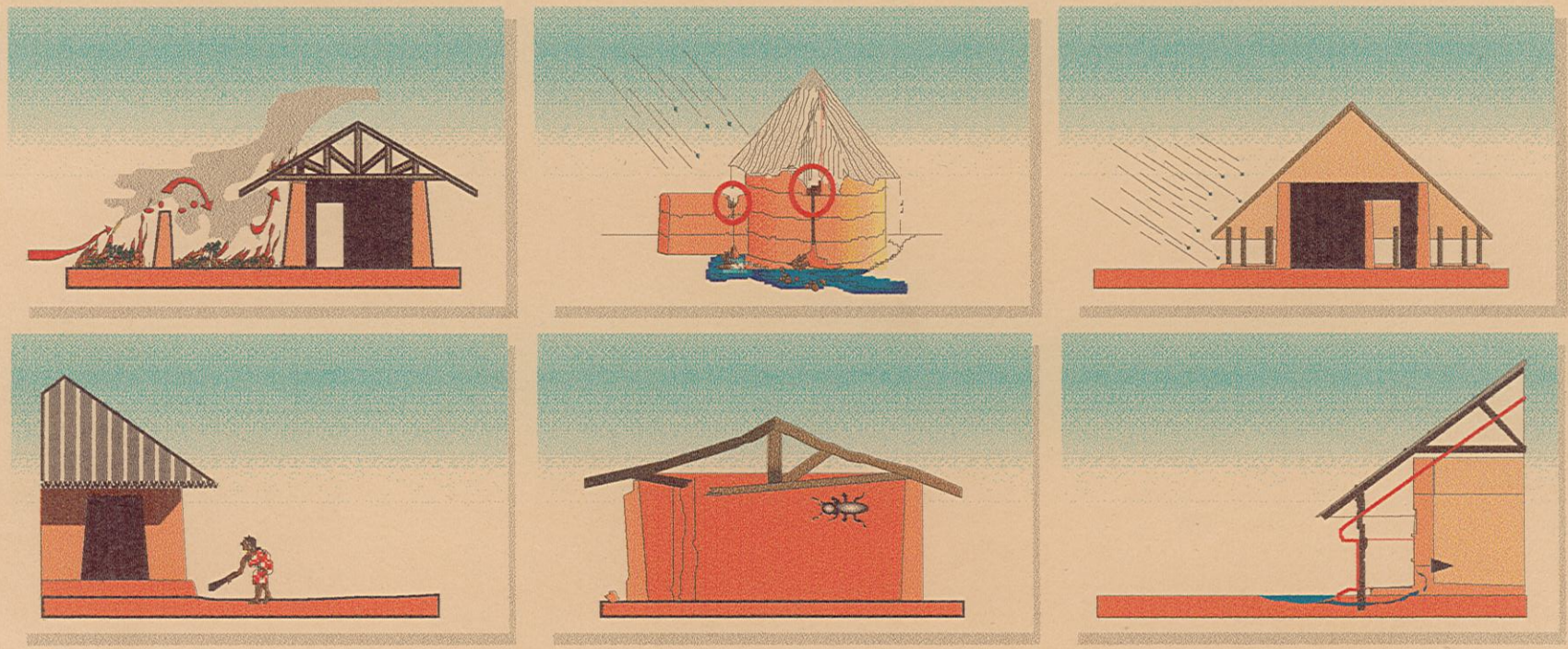
RÉPUBLIQUE DU BÉNIN
Ministère de la Culture et des Communications, Direction du Patrimoine Culturel

ICCROM CRATerre-EAG UNESCO



Palais royaux d'Abomey

1. Circonstances et processus de dégradation

PROJET PREMA-BENIN II

Le projet Prema-Bénin II est financé par le Ministère Italien des Affaires Etrangères,
avec le concours de l'UNESCO (CLT - CH) et du Centre du Patrimoine Mondial.

6431

République du Bénin
Ministère de la Culture et des Communications
Direction du Patrimoine culturel
B.P. 02. 2103, Cotonou, Bénin

PROJET PREMA-BENIN II

ICCROM
Via San Michele 13
00153 Rome
Italie

CRATerre-EAG
Ecole d'architecture de Grenoble
60, Avenue de Constantine
B.P. 2636
38036 Grenoble cedex 2
France

UNESCO
7, Place Fontenoy
75 732 Paris 07 S.P.
France

Février 1996

Ce document a été réalisé par CRATerre-EAG
dans le cadre de sa collaboration avec l'ICCROM : **Projet "GAIA"**
pour le projet **PREMA-BENIN II** engagé par la Direction du Patrimoine du Bénin et le projet PREMA de l'ICCROM.

**Le projet Prema-Bénin II est financé par le Ministère Italien des Affaires Etrangères,
avec le concours de l'UNESCO (CLT -CH) et du Centre du Patrimoine Mondial.**

Texte et photographies : Thierry JOFFROY, CRATerre-EAG
Mise en page et illustrations : Sébastien MORISET, CRATerre-EAG

CENTRE INTERNATIONAL DE LA CONSTRUCTION EN TERRE
CRATerre
BIBLIOTHÈQUE

Remerciements

Ce document n'aurait pu être réalisé sans la participation ni l'appui de nombreux partenaires que nous tenons à remercier chaleureusement.

Notre reconnaissance va tout d'abord à monsieur Gaël de Guichen, Directeur du projet Prema (ICCROM) et à messieurs Alejandro Alva et Hugo Houben, Co-Directeurs du projet Gaia (ICCROM - CRATerre-EAG) pour la confiance qu'ils nous ont apportée, ainsi qu'à mesdames Denise Sossohounto et Rachida De Souza, successivement "Directeur du patrimoine" du Bénin ainsi qu'à monsieur Constant Nouati, Conservateur adjoint du musée d'Abomey.

Nous remercions aussi monsieur Aimé Gonçalves, architecte en chef des Monuments historiques du Bénin, et monsieur Dorothé Mizehoun, technicien du bâtiment de la Direction du patrimoine du Bénin pour leurs commentaires avertis.

Nous tenons aussi à remercier monsieur Nondichao Bachalou, historien traditionnel, pour son assistance technique sur place et pour toutes les informations précieuses qu'il a pu nous transmettre.

Enfin, ce travail n'aurait pu se faire sans le soutien de toute l'équipe du CRATerre-EAG et plus particulièrement celui de monsieur Hubert Guillaud, responsable du programme de recherche Architectures et Cultures, mademoiselle Marie France Ruault, documentaliste et monsieur Mahmoud Bendakir, architecte.

Sommaire

Introduction

1. Action de l'eau 10

1.1. Action directe de l'eau de pluie 11
1.2. Le talus détritique 12
1.3. L'érosion ponctuelle 15
1.4. Eaux de ruissellement à la base des murs 18
1.5. Eaux de ruissellement sur les sols 22
1.6. Eaux stagnantes 25
1.7. Remontées capillaires 30
1.8. Condensation 34

2. Action du vent 36

2.1. Efforts exercés par le vent 37
2.2. Arrachement 38
2.3. Transport de matériaux 39

3. Action du feu 40

4. Action de l'homme 42

5. Action des végétaux 47

5.1. Champignons 47
5.2. Mousses 47
5.3. Herbes et plantes 48
5.4. Arbres 52

6. Action des animaux 57

6.1. Les termites 57
6.2. Les rats 62
6.3. Les cochons 63

7. Facteurs aggravants propres aux bâtiments 65

7.1. Evolution et transformations subies 69
7.2. Toitures 80
7.3. Couverture de tôle 81
7.4. Couverture de chaume 82
7.5. Charpente 84
7.6. Faux-plafonds 85
7.7. Murs 88
7.8. Enduits 93
7.9. Sols 96
7.10. Trottoirs 97
7.11. Bancs 98
7.12. Talus 99

8. Bibliographie 101

Introduction

Dans le cadre du protocole d'accord pour le programme Prema-Bénin, Phase II, "Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey", (Prema - Abomey, UNESCO BER/CSF/DON/93), le volet architecture se propose de mettre en place les conditions nécessaires à l'amélioration de la durabilité des constructions et d'éviter leur dégradation voire leur destruction, en suivant les principes de la conservation préventive. Avant de démarrer le nécessaire travail en profondeur sur le site, il convenait de faire un bilan complet de l'état des bâtiments, ainsi qu'une analyse détaillée des phénomènes de dégradations propres aux structures des palais ainsi que des lieux dans lesquels ceux-ci se développent, de façon à définir précisément les actions de prévention devant être mises en oeuvre, dès lors que les situations d'urgence seraient traitées.

Les Djé-hos de Guézo et de Zoindi en 1995, avant les travaux de rénovation réalisés à l'occasion du sommet de la francophonie.

Le Zinkpoho et l'Adjalala du roi Guézo, janvier 1996.

Le présent document "Circonstances et processus de dégradation des bâtiments des palais royaux d'Abomey" correspond à cette analyse détaillée des phénomènes de dégradation avec une description non seulement des pathologies observées, des phénomènes types, mais aussi des causes principales et secondaires. Les circonstances environnementales et propres aux bâtiments dans lesquelles se sont développées ces pathologies sont également décrites. Ce dernier point est des plus importants car les actions de prévention portent sur l'élimination des causes et donc en grande partie sur la mise en place d'un environnement réduisant les risques de dégradation et de développement des pathologies.

Les processus de dégradation affectant les palais d'Abomey sont très diversifiés. On peut distinguer des processus simples et des processus combinés, plus complexes. Toutefois, il est d'une extrême importance de bien comprendre que beaucoup des pathologies observées sur le site résultent de l'action en chaîne de plusieurs pathologies, une pathologie se développant à cause d'une autre et ainsi de suite, jusqu'à la destruction complète du bâtiment.

Les processus simples sont issus d'une cause unique et facilement identifiable. L'exemple le plus simple de ce type de pathologie est l'érosion de la surface des murs de terre par l'eau de pluie. De même, le vieillissement naturel des toitures de chaume est dû principalement à l'eau de pluie.

Le tombeau des reines mères en 1995, avant l'effondrement de la toiture.

Vue intérieure du Djé-ho de Guézo en 1995, avant les travaux de rénovation réalisés à l'occasion du sommet de la francophonie.

Les processus combinés résultent de causes multiples. C'est le cas du phénomène de remontées capillaires (provoquant notamment des pathologies d'enduits) qui provient des eaux d'écoulement ou de stagnation s'infiltrant dans le sol, mais qui ne se produit que lorsqu'il existe une configuration spécifique du terrain amenant cette eau aux abords du bâtiment ou d'une partie de celui-ci.

Les processus "en chaîne" sont quasiment une règle générale car tous les éléments d'un bâtiment sont liés intimement ce qui fait que, dès lors qu'un des éléments du bâtiment est endommagé, d'autres éléments sont en situation de risque et finissent par se dégrader, et ainsi de suite.

Pour exemple de ces processus en chaîne :
Partons d'une tôle rouillée qui finit par être percée, laissant couler de l'eau sur la charpente en bois. Le bois humide est facilement attaqué par des champignons qui vont préparer le terrain aux termites qui finissent par détruire entièrement une partie de la charpente. La fixation de la tôle n'étant plus assurée, elle est emportée lors d'une tempête, laissant une ouverture importante au-dessus de la construction. Dès lors, l'eau peut pénétrer à l'intérieur du bâtiment. Elle stagne au niveau du sol car aucun drainage n'a été prévu et s'infiltre dans les murs qui s'affaiblissent.

Les murs se détériorent aussi en leur partie supérieure et un talus détritique se forme à leur base. Des graines viennent se déposer et des plantes commencent à pousser, réduisant la capacité porteuse du mur qui finit par s'écrouler. La brèche résultant de l'écroulement laisse entrer les tempêtes qui emportent la toiture.

L'Adjalala du roi Béhanzin, 1995.

Ce type de scénario "catastrophe", réalité terrible, n'est pas inexorable car à chaque étape d'un processus, il est possible d'intervenir, de mettre en oeuvre une réparation définitive ou provisoire permettant de briser cette chaîne et de sauvegarder de façon économique, efficace et surtout éthique les bâtiments des palais royaux.

Par ailleurs, connaissant bien les circonstances et les types de processus de dégradation, il est toujours possible de prévoir le démarrage d'un phénomène et donc de mettre en oeuvre une action de prévention visant à supprimer la situation de risque. De même il est possible d'anticiper le vieillissement naturel de certains matériaux et de prendre la décision de leur remplacement avant qu'ils ne cessent de remplir leur fonction.

Ces différentes interventions ainsi que l'organisation spécifique nécessaires à leur mise en oeuvre seront décrites dans le "Guide d'entretien des palais royaux d'Abomey".

Tombeau du roi Guézo, 1995.

1. Action de l'eau

L'eau est le principal agent agressant des structures des palais royaux d'Abomey, directement ou indirectement en facilitant l'action d'autres agents agressant.

L'eau pouvant affecter les structures des palais d'Abomey provient de deux sources principales :

- l'eau de pluie, abondante en saison des pluies,
- la condensation qui se produit en saison froide et se dépose sur les toitures en tôles ainsi que sur la végétation.

La nappe phréatique étant très profonde, elle n'engendre pas de remontées capillaires.

Si l'eau de condensation reste principalement sur les toitures (quelques gouttes seulement tombent au sol), l'eau de pluie a un cheminement assez complexe.

En effet, l'eau de pluie se met rapidement à ruisseler sur les toitures, puis sur le sol des différentes cours des palais, passe sous des murs de clôture avant de s'évacuer à l'extérieur de l'enceinte.

En certain lieux (pente nulle ou bassins), l'eau de ruissellement stagne, permettant alors l'infiltration dans les sols. Une partie de cette eau s'évapore, l'autre rejoint la nappe phréatique et une dernière remonte par capillarité dans les murs des constructions pour finalement s'y évaporer.

Lors de ce cheminement complexe, l'eau a de nombreuses occasions de détériorer ou de participer à la détérioration des éléments du bâti.

En présence d'eau, la terre perd une partie de sa cohésion (phénomène peu rapide avec les qualités des terres latéritiques disponibles à Abomey).

Les murs de terre sont donc sujets à l'érosion de surface, horizontale ou verticale, avec enlèvement et déplacement de matière et lorsqu'ils sont humides, ils perdent une partie de leur résistance mécanique, ce qui peut engendrer des désordres structuraux.

Le passage de l'eau de l'état liquide à l'état de vapeur peut se produire dans des parties de construction. Des pressions peuvent alors s'exercer et engendrer des désordres, notamment au niveau des enduits.

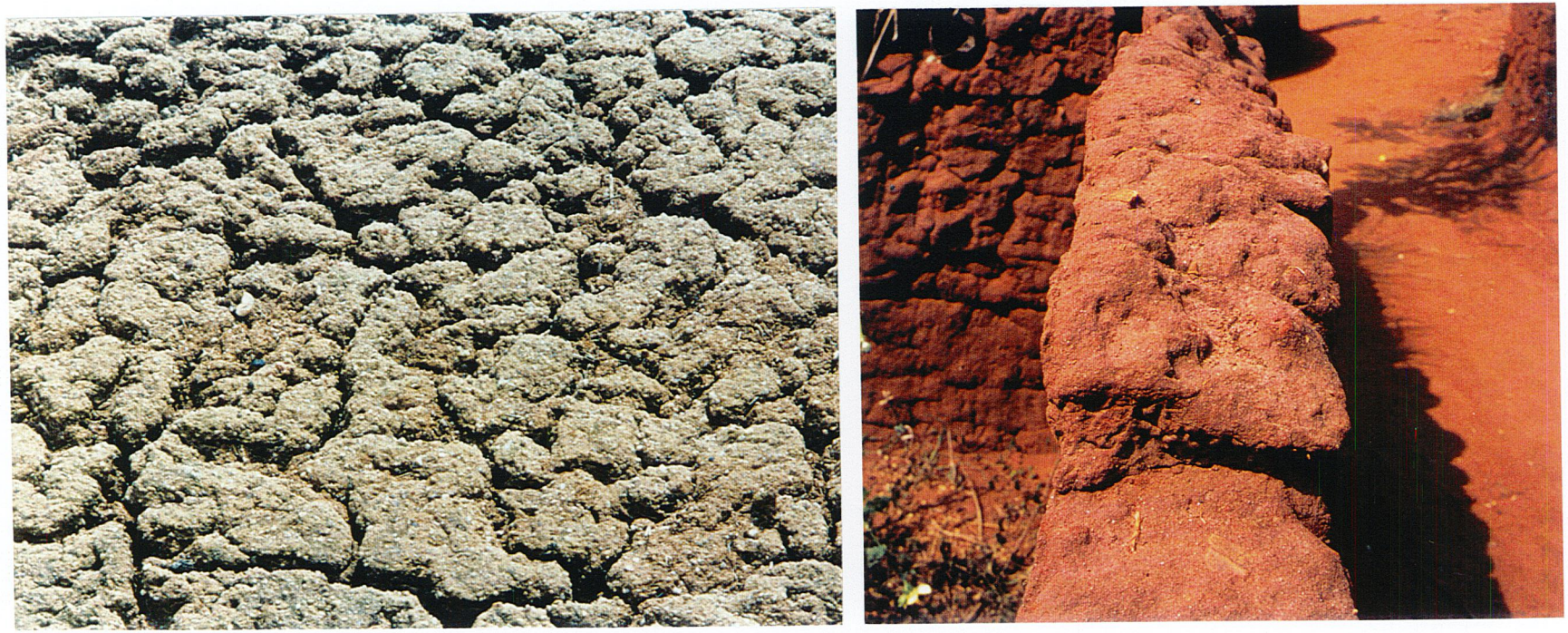
L'eau sous toutes ses formes entraîne le pourrissement des bois, facilitant le développement des champignons et l'attaque par les termites.

1.1. Action directe de l'eau de pluie

L'eau de pluie qui tombe sur les murs non protégés provoque un ramollissement de la matière et, lors de son écoulement le long du mur, provoque une érosion de surface (mur de terre, enduit de terre, bas reliefs).

Le même phénomène se produit sur la surface verticale des murs lorsque le vent s'allie à la pluie (pluies horizontales).
Même lorsque les murs sont protégés dans leur partie supérieure, les bas-reliefs situés en partie inférieure sont alors plus particulièrement touchés.

Les badigeons ne font que retarder ces érosions. Elles sont évitées seulement si un enduit résistant à l'eau est appliqué sur le mur.



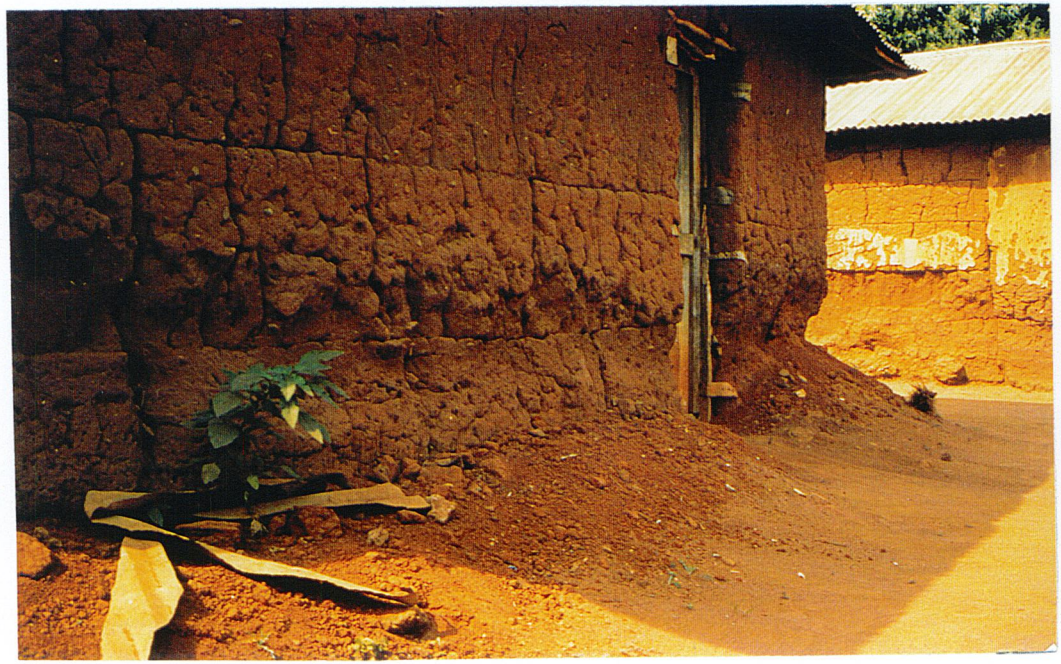
Erosion de surface sur des murs de terre.

1.2. Le talus détritique

Lors des phénomènes d'érosion vus précédemment, les particules les plus fines sont emportées par les eaux de ruissellement.
Les particules les plus grosses (sables grossiers, graviers) qui sont alors dégarnies de leur "colle" tombent au sol.

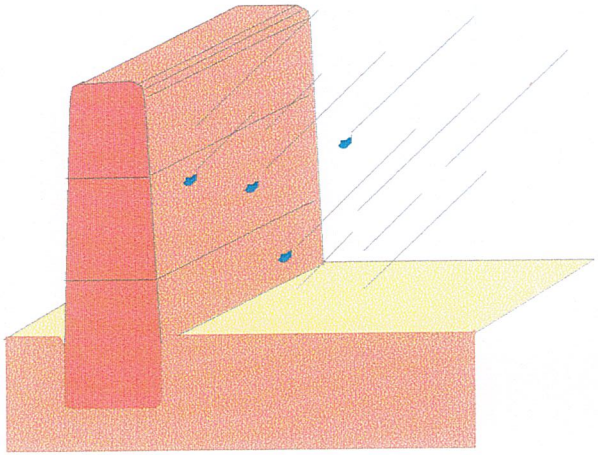
Dans le cas d'écoulement sur des murs secs, l'eau peut être absorbée, et les particules emportées se déposent sur la paroi.
Gorgés d'eau, des morceaux entiers de murs (principalement des morceaux d'enduits) ayant perdu leur cohésion peuvent tomber.

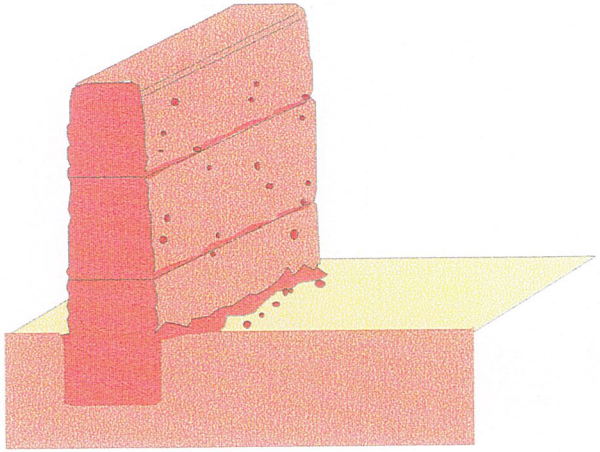
Ces deux phénomènes forment à la base du mur un "talus détritique" composé de terre très sableuse, qui, n'étant pas damée, a les propriétés d'absorber de très grandes quantités d'eau et d'empêcher l'évaporation. Ces talus modifient la topographie autour des bâtiments et conservent une humidité très forte à la base du mur.



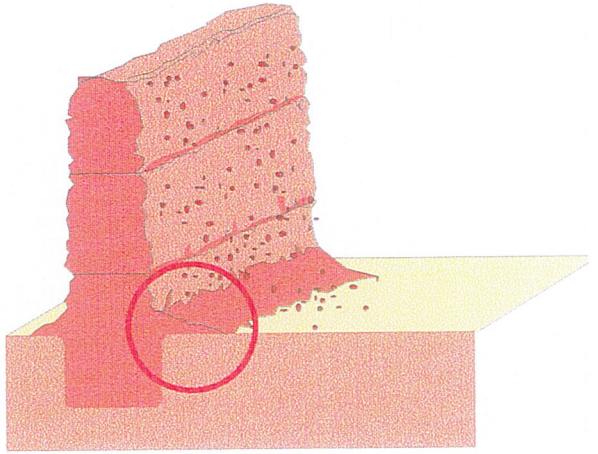
Deux étapes dans le processus de formation d'un talus détritique.

1.2. Le talus détritique

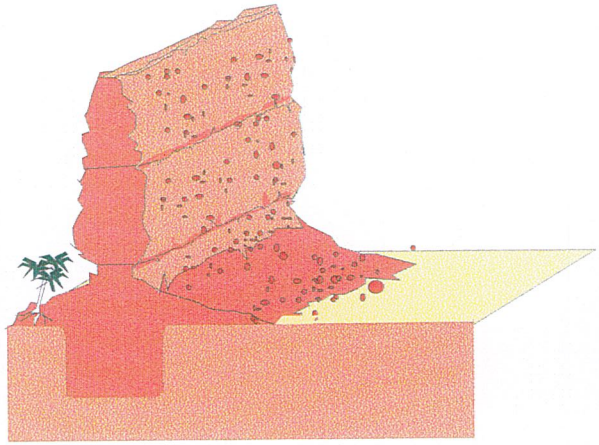




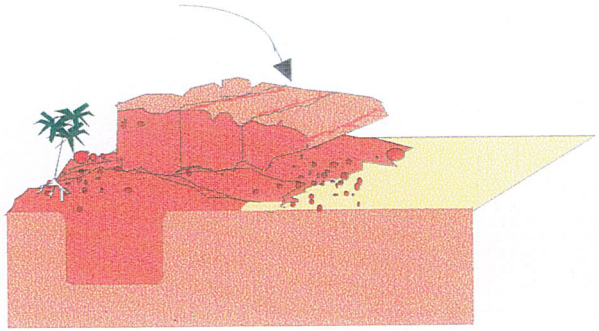
L'eau de pluie emporte les particules fines. Les grosses particules tombent et se déposent à la base du mur.

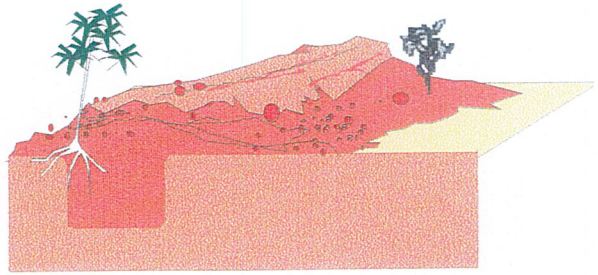


Cette terre qui s'accumule est très sableuse et peut absorber de grandes quantités d'eau.



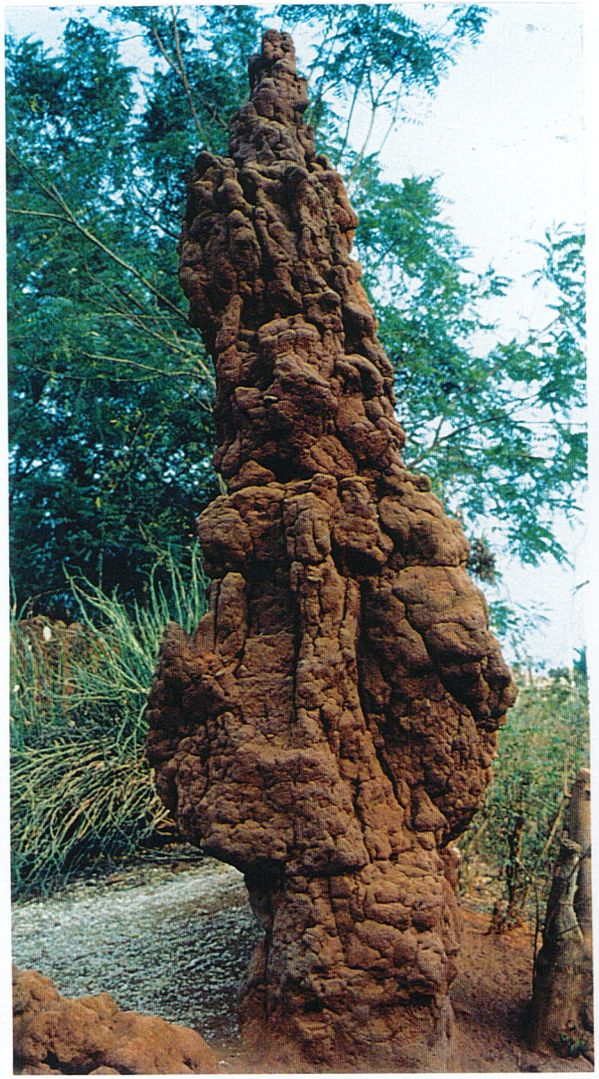
Le talus maintient l'humidité qui attire les végétaux et les animaux (termites, rats).





Le maintien de l'humidité peut engendrer des désordres structuraux (basculement).

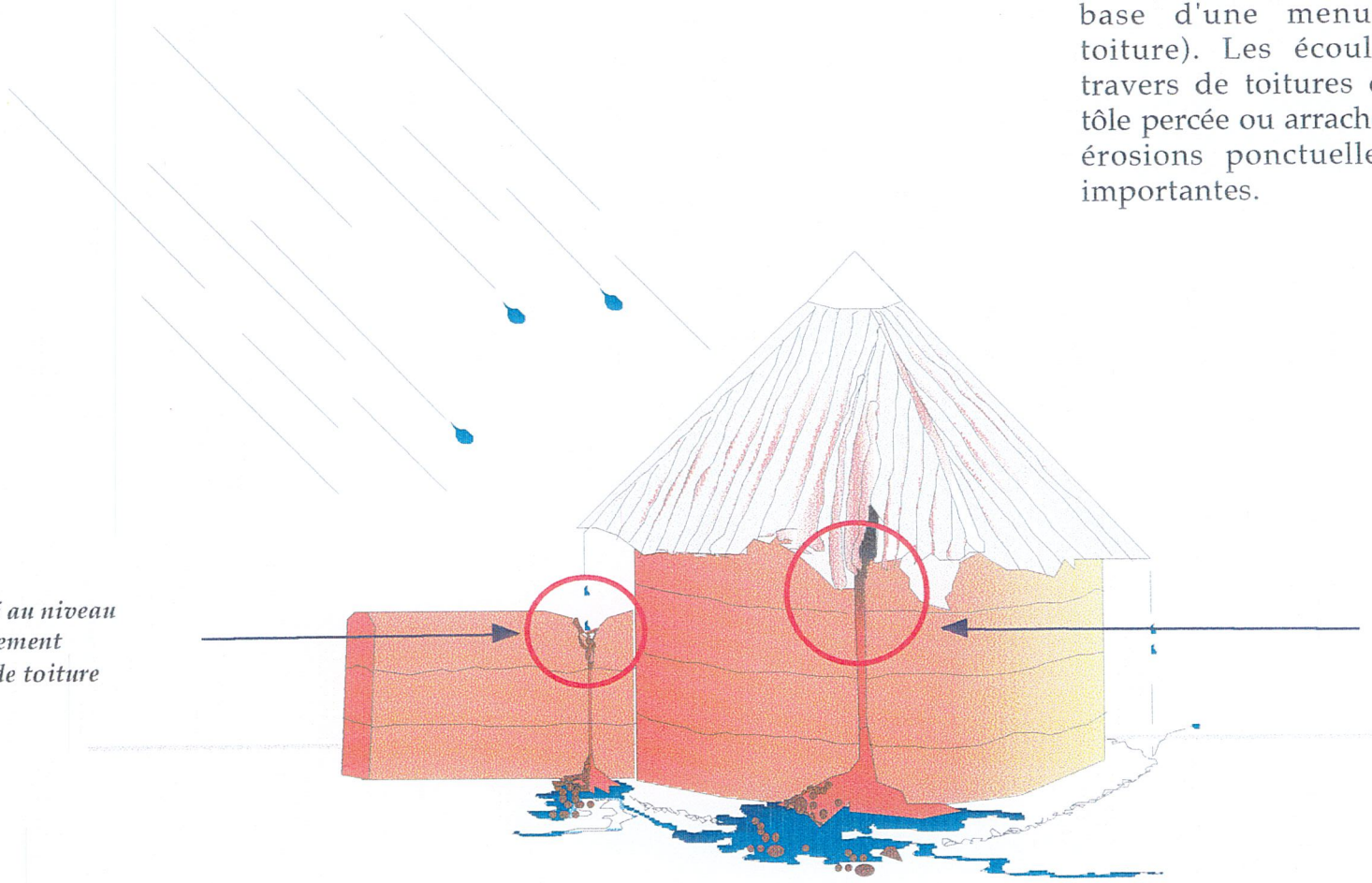
1.2. Le talus détritique



Couverte par le talus détritique, la base du mur ne peut plus sécher et perd en partie sa cohésion, ce qui peut entraîner des désordres structuraux graves tels que l'affaissement ou plus couramment le basculement du mur.

1.3. L'érosion ponctuelle

Ces phénomènes se produisent lorsque l'eau de pluie est concentrée en une zone précise (écoulement concentré à la base d'une menuiserie ou d'une toiture). Les écoulements d'eau au travers de toitures défectueuses (p.e.: tôle percée ou arrachée) engendrent des érosions ponctuelles des murs très importantes.



Mur érodé au niveau de l'écoulement des eaux de toiture

Erosion du mur au niveau d'une tôle arrachée

1.3. L'érosion ponctuelle

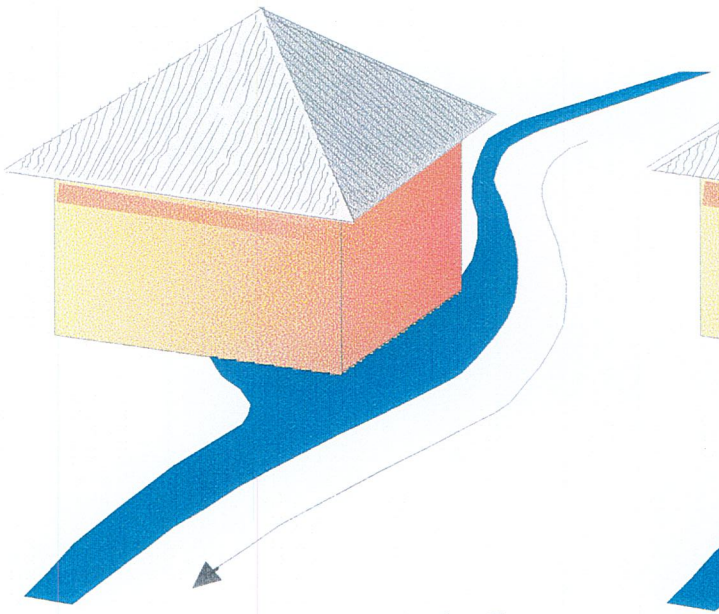
Murs de terre non protégés érodés au niveau de l'écoulement des eaux de toiture.

Erosions ponctuelles sur des murs intérieurs dues à des fuites d'eau dans la toiture.

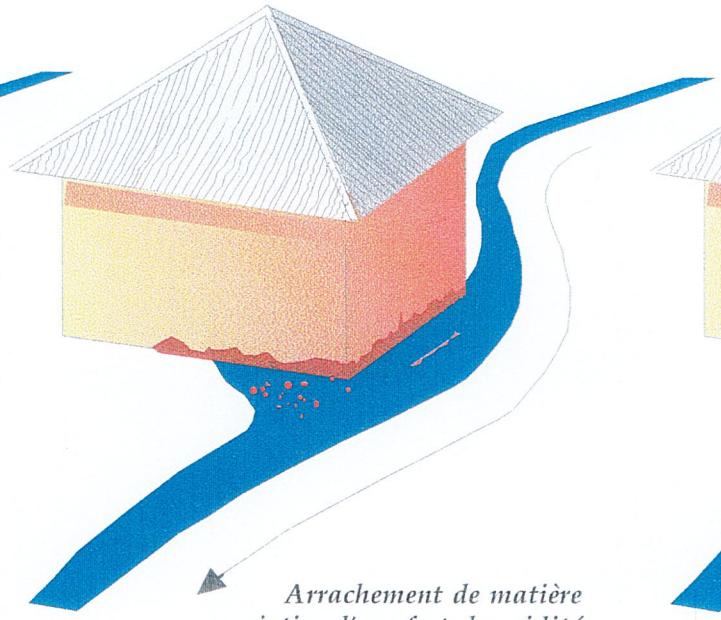
1.4. Eaux de ruissellement à la base des murs

Les eaux de ruissellement s'écoulent sur le sol avec une vitesse qui dépend de la pente. Plus la pente est forte, plus la vitesse d'écoulement est importante, et plus le ruissellement est agressif, ce qui se traduit principalement par l'arrachement de matières et leur transport.

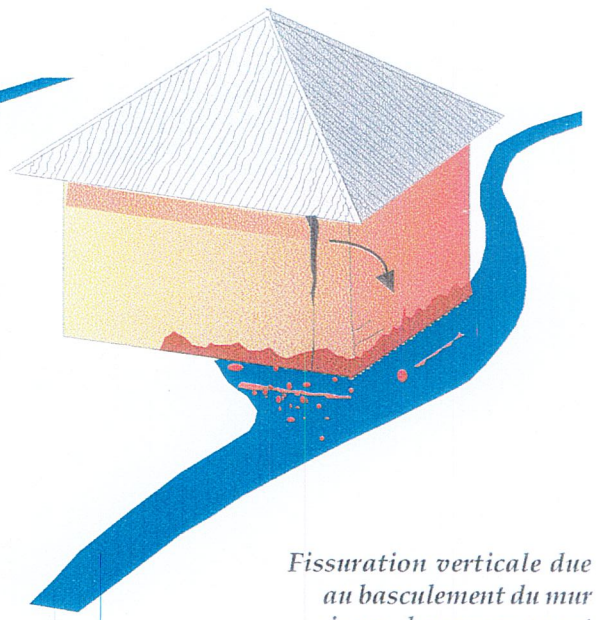
Les ruissellements sont dangereux pour les constructions lorsqu'ils se font à la base des murs. Dans le cas ou des talus (ou trottoirs) ont été mis en place pour les protéger, ce sont ces talus qui peuvent être agressés. L'agression se fait sur la construction elle-même mais aussi sur le sol environnant. Bien entendu, les passages sous les murs sont des zones très sensibles et qui restent régulièrement touchées même si elles ont systématiquement été traitées en conséquence.



Ruissellement



Arrachement de matière maintien d'une forte humidité



Fissuration verticale due au basculement du mur risque de renversement

1.4. Eaux de ruissellement à la base des murs

La base des murs et les talus sont les plus exposés aux eaux de ruissellement.

Erosion de la base des murs

Sur la construction elle-même, le ruissellement peut arracher de la matière, ce qui entraîne un rétrécissement de la base du mur et lui fait perdre une partie de sa capacité structurelle.
Autour du bâtiment, il crée un affouillement des fondations qui pourrait à long terme entraîner des défauts structuraux. La mise en oeuvre de talus ou de trottoirs représente donc une protection très importante, car la structure principale ne peut être affectée.

1.4. Eaux de ruissellement à la base des murs

Erosion des angles de mur

L'érosion de la base des murs est généralement plus forte dans les angles des bâtiments.

Les enduits en ciment appliqués sur certains murs et talus ne sont pas forcément efficaces. Ils jouent parfois un rôle aggravant en empêchant l'humidité de s'évaporer.

1.4. Eaux de ruissellement à la base des murs

L'écoulement des eaux à proximité d'un bâtiment entraîne des infiltrations et donc humidifie la base du mur. Ceci favorise le développement de la végétation et accélère les dégradations. (photo de droite)

Toutefois, la durée relativement faible des phénomènes d'écoulement fait que la possibilité d'infiltration reste bien inférieure à celle des eaux stagnantes.

Des écoulements persistants peuvent malgré tout entraîner des défauts de structure importants tels que ces fissures que l'on peut observer sur le portique d'Agoli-Agbo (photos ci-dessous)

Fissures verticales ayant pour origine des écoulements d'eau importants le long du bâtiment.

1.5. Eaux de ruissellement sur les sols

Les écoulements modifient la topographie du terrain. Toutefois, les pentes étant relativement faibles, ceci ne se produit que sur le long terme mais est finalement assez dangereux puisqu'il peut être difficile de se rendre compte de cette modification graduelle.

Lors des ralentissements les particules les plus grosses (sables, petits graviers) se déposent formant des couches sablonneuses qui favorisent l'infiltration de l'eau et ne permettent pas l'évaporation.

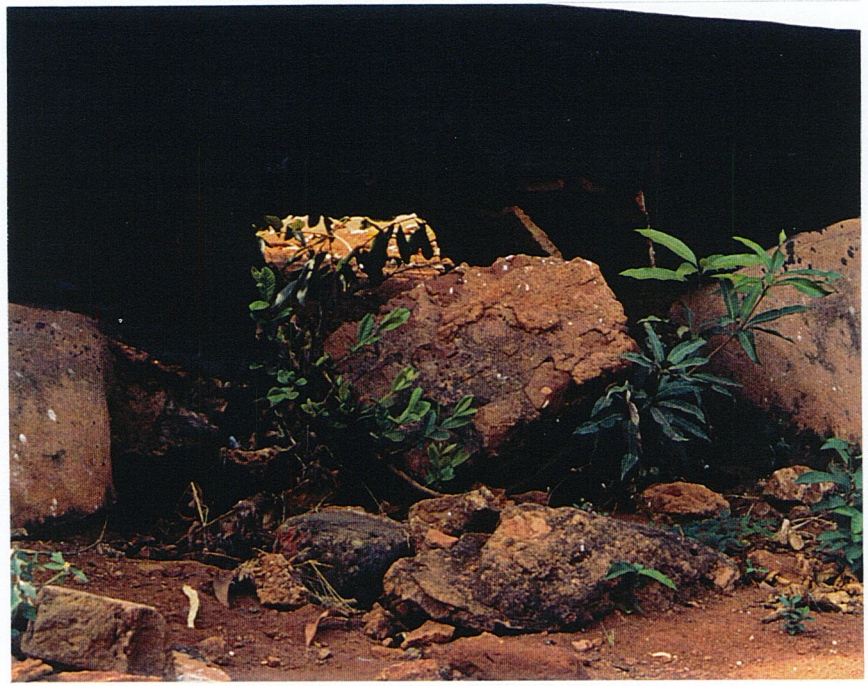
Exemple d'accumulation de particules fines le long d'un des murs d'enceinte. Cette couche de sable fin maintient la base du mur humide et ne permet pas l'évaporation. La ligne d'humidité et la fissure au bas de la peinture blanche témoignent de cette forte présence d'humidité.

1.5. Eaux de ruissellement sur les sols

La modification de la topographie par les eaux de ruissellement peut atteindre des proportions considérables à long terme comme en témoignent les photos ci-contre montrant la salle des visiteurs du palais de Glélé (en 1930 et aujourd'hui). Il faut actuellement gravir cinq marches pour accéder à cette salle alors qu'il y en avait que deux en 1930, soit une baisse du niveau du sol de plus de 60 centimètres.
Bien que très lente, cette érosion transforme l'environnement proche des bâtiments et peut aussi amener des problèmes considérables tels que le déchaussement des fondations, les stagnations d'eau, etc...

Les photos anciennes nous montrent de nombreux exemples identiques sur le site du musée (portique de Guézo, Place Singbodji, etc...)

Salle des visiteurs en 1930 et en 1995
Photo du haut: (© Albert-Kahn/Département des Hauts-de-Seine, tirage de lecture)



D'autre part, ces écoulements sont capables de transporter des feuilles et même des branches d'arbres qui risquent d'obstruer les passages sous les murs de clôture ou d'enceinte et créer des stagnations d'eau très importantes.

Bouche d'évacuation obstruée par des branches. La stagnation d'eau a fragilisé le mur dont des morceaux se sont détachés, aggravant la situation.

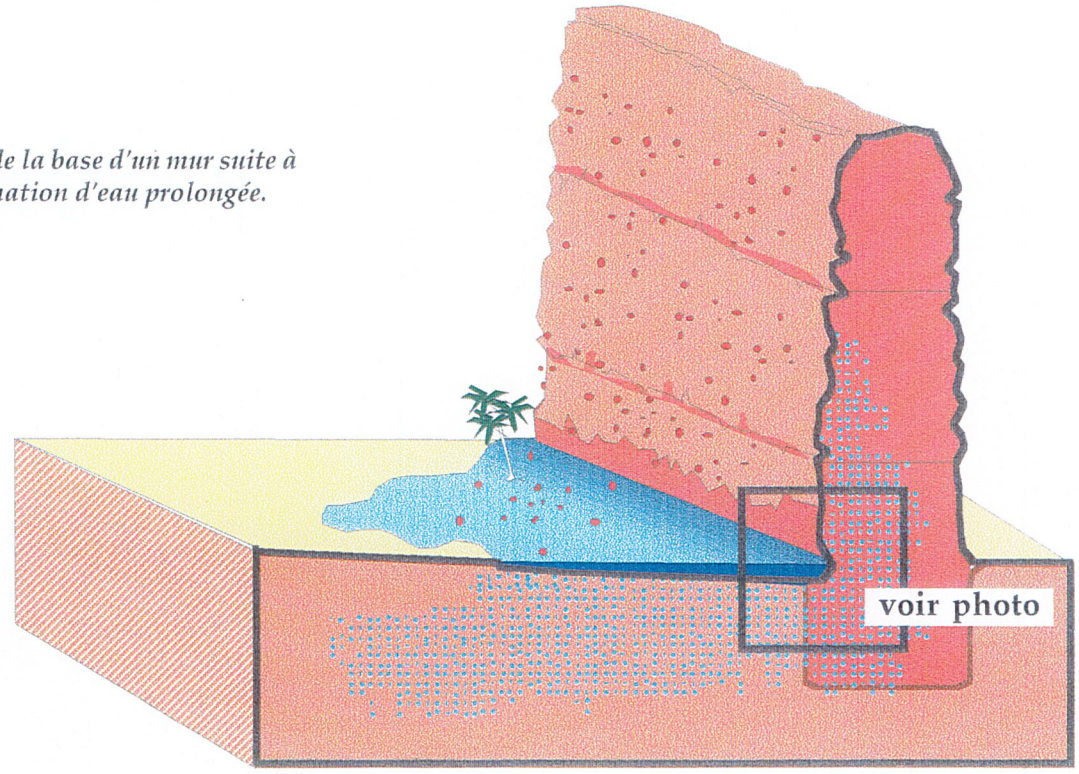
1.6. Eaux stagnantes

Stagnation d'eau à la base des murs:

Dès que l'eau stagne contre un mur, celle-ci s'infiltre horizontalement dans la masse du mur qui perd sa cohésion et s'érode.

Une partie de l'eau, absorbée par le sol remonte par capillarité dans la masse du mur, ce qui peut poser des problèmes importants lorsque le mur est enduit.

Erosion de la base d'un mur suite à une stagnation d'eau prolongée.

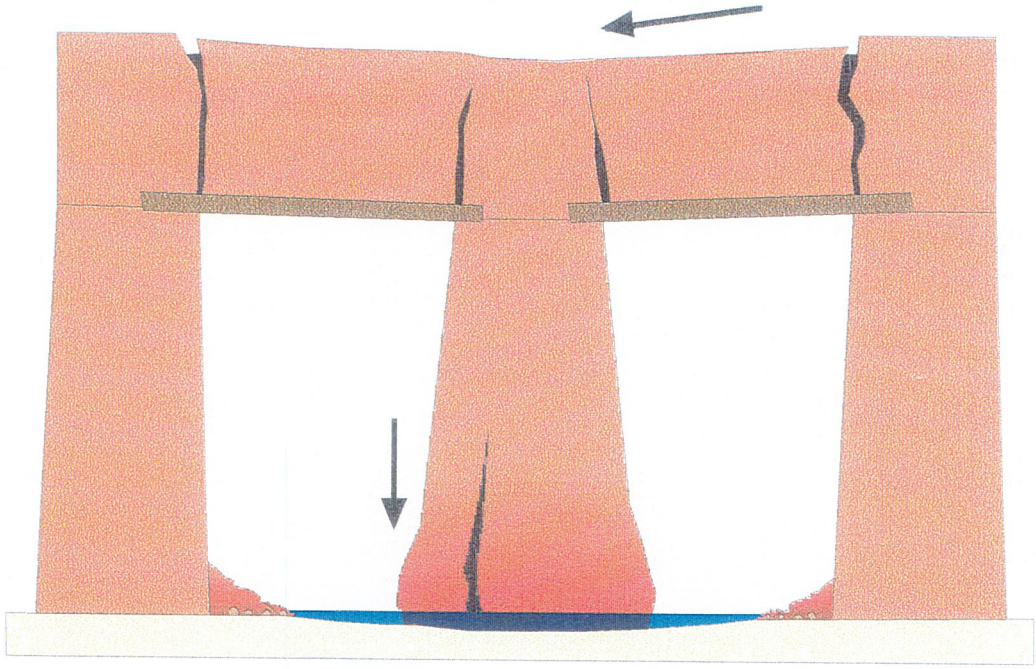


1.6. Eaux stagnantes

Ce phénomène de stagnation est très dangereux car il entraîne un ramollissement de la matière du mur (soubassement) ainsi que du sol de fondation.

Ce ramollissement se développe sur une profondeur du mur d'autant plus importante que la durée de stagnation est longue. Si ce ramollissement concerne une surface trop importante, il y a risque de déformation de la base du mur (photo de gauche) et dès lors risque de développement de défauts structuraux graves (photo de droite): basculement de mur, désordre dans les linteaux, désordres dans la toiture,...

Ramollissement et destruction de mur humides, Nigéria.



Le ramollissement des piliers peut entraîner des défauts structuraux importants dans les linteaux et toitures.

1.6. Eaux stagnantes

Ces photos, prises à 24 heures d'intervalle (Nigéria), montrent les effets destructeurs que peuvent avoir des eaux stagnantes. Le ramollissement du soubassement a provoqué la chute du mur. Cette destruction aurait pu être évitée par le débouchage des passages d'écoulement d'eau encombrés de feuilles et de branches d'arbres.

1.6. Eaux stagnantes

Les eaux stagnantes s'infiltrent dans le sol pour rejoindre la nappe phréatique mais dans ce cas, une grande partie s'infiltre dans le mur et remonte par capillarité.

L'humidité très importante facilite le ramollissement de la terre où se développent la végétation, les micros organismes et les termites.

Les rongeurs trouvent dans ce sol facile à creuser un endroit idéal pour établir leur terrier.

Les murs humides et faciles à creuser attirent la végétation, les termites et les rats.
Sur la photo de droite, qui montre un mur venant d'être dégagé, on peut voir très clairement le niveau atteint par les remontées capillaires.

1.7. Remontées capillaires

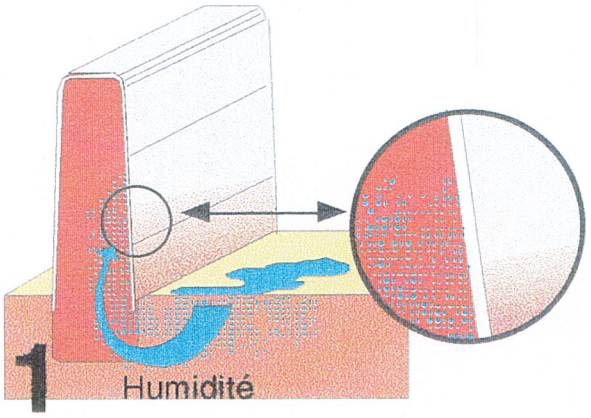
Les remontées capillaires se produisent lors d'une stagnation d'eau importante autour du bâtiment. L'eau remonte à travers les fondations jusque dans les murs. A la surface du mur, cette eau a tendance à s'évaporer, mais dès que la température du mur s'élève (ce qui se produit entre 30 et 100 cm au-dessus du niveau du sol, selon l'ensoleillement) cette évaporation s'accélère.

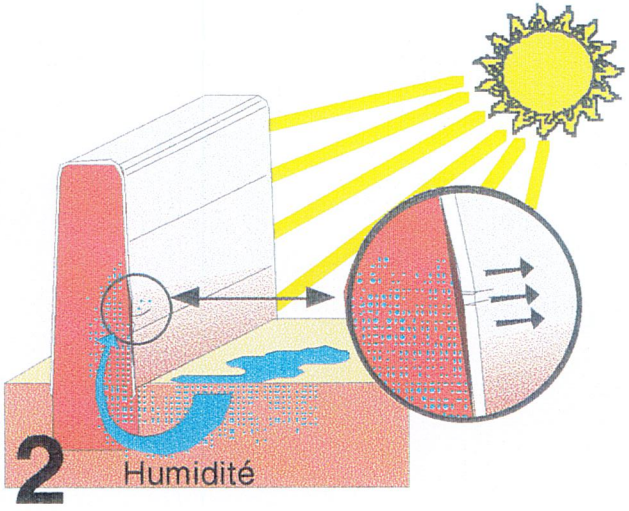
Marques d'humidité dues aux remontées capillaires sur un mur d'enceinte.

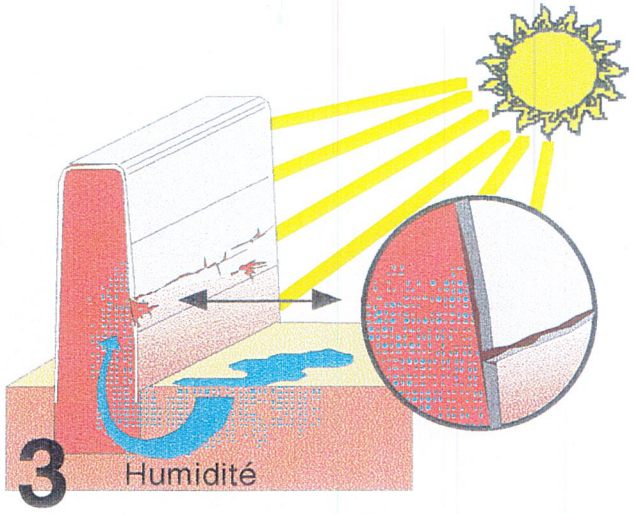
1.7. Remontées capillaires

L'évaporation et l'assèchement du mur créent un phénomène de pompe accélérant les remontées d'eau. Lorsque le mur est composé de matériaux poreux, ce phénomène ne pose quasiment aucun problème car l'eau n'est pas chargée de matières agressives (sels).

Lorsque le mur est recouvert d'un enduit étanche à la vapeur d'eau, la pression exercée par la vapeur formée à l'intérieur du mur engendre des décollements de ce revêtement, puis sa chute. C'est le cas des enduits ciments qui présentent une fissuration horizontale caractéristique au niveau du soubassement. Ce phénomène peut être aggravé par les peintures étanches.



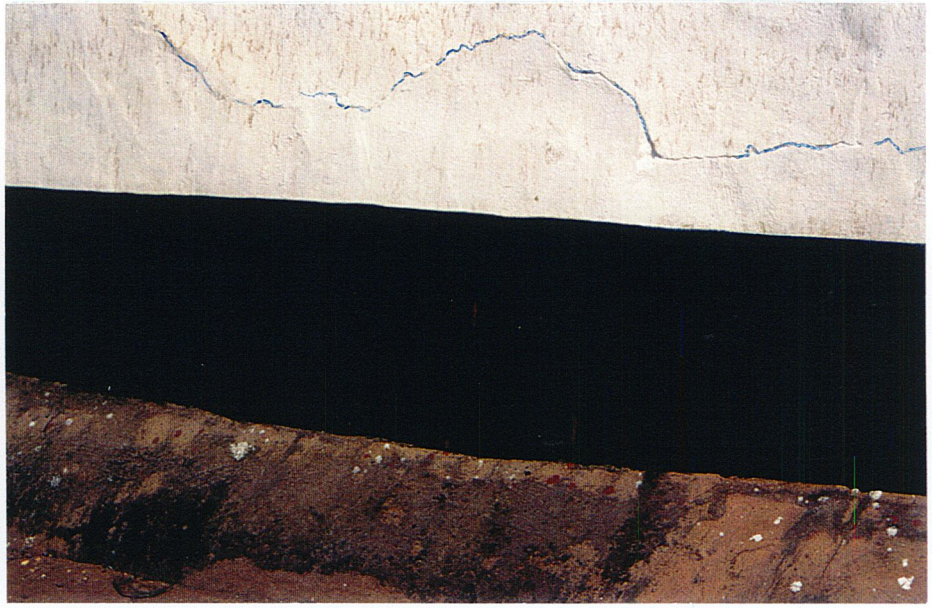




1.7. Remontées capillaires

Ces problèmes, souvent liés aux enduits ciment apparaissent parfois sur certains enduits en terre (réalisés avec des terres fines de faible porosité)

L'humidité facilite le développement de mousses et de champignons.



Décollements d'enduits dus à la pression exercée par la vapeur qui s'est formée à l'intérieur du mur.

1.7. Remontées capillaires

Les peintures des bas-reliefs sont exposées de la même manière à ces décollements.

Décollements des peintures sur des bas-reliefs.

1.8. Condensation

La corrosion aqueuse ou "rouille" se manifeste en présence d'oxygène et d'eau à température ordinaire. La corrosion devient importante au dessus de 80% d'humidité.

La condensation d'eau sur les toitures de tôles se combine avec les poussières de latérite qui sont transportées par le vent. La présence de fer (latérite) et d'eau permet la formation de réactions chimiques avec les couches protectrices des tôles (effet pile) qui accélère le processus de corrosion.

Le phénomène s'aggrave avec les toits de faible pente et les recoins où se déposent les poussières et l'humidité.

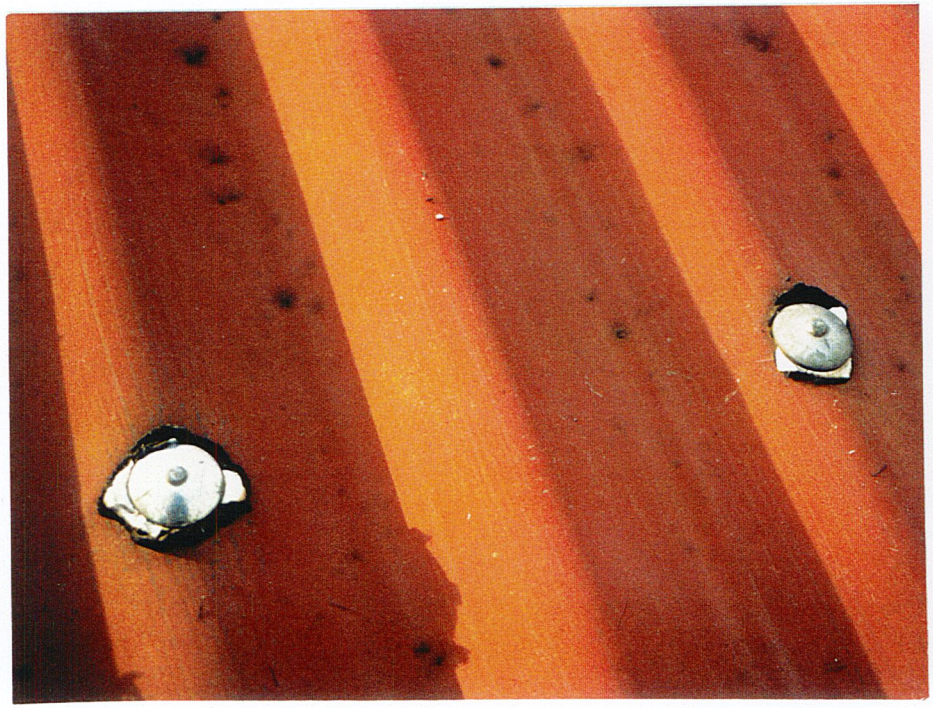
Ces réactions se produisent plus facilement au niveau des fixations des tôles, lieu où la couche superficielle de protection est toujours endommagée. La fixation est alors affaiblie et les tôles sont plus sensibles à l'action du vent.

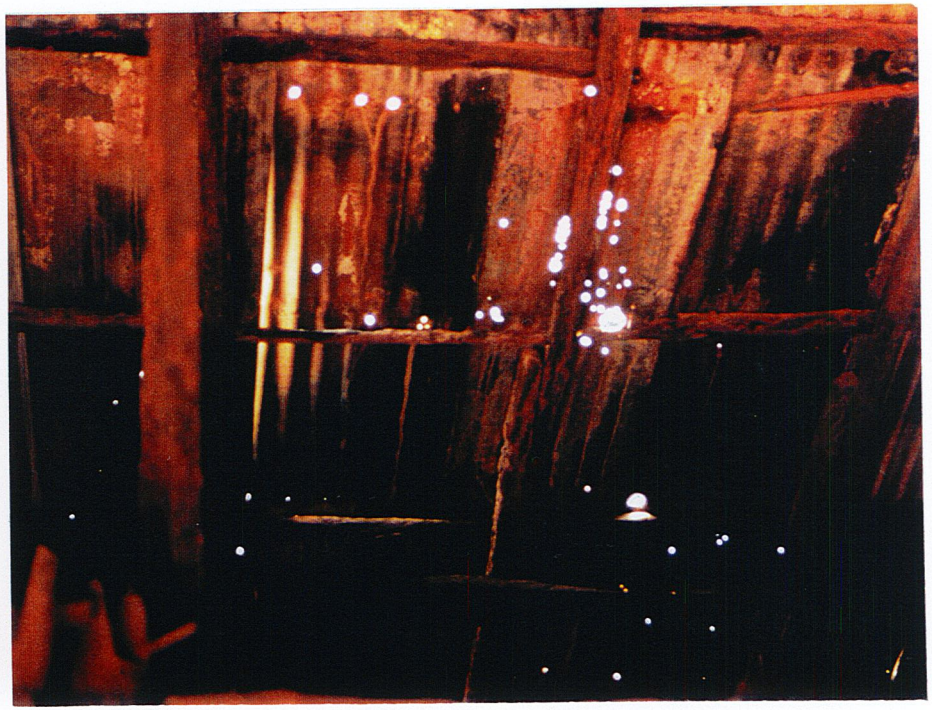
La corrosion des tôles ne se produit pas seulement en saison des pluies, car la condensation est visible quotidiennement en saison sèche.

1.8. Condensation

Les tôles percées permettent à l'eau de pluie de rentrer dans la construction entraînant d'autres phénomènes :

- écoulements ponctuels d'eau sur les murs de terre
- humidification des bois de charpente facilitant son attaque par les termites
- stagnation d'eau à l'intérieur du bâtiment.





Deux stades dans le processus de corrosion:
Photo de gauche: les poussières se déposent au fond des ondulations de la tôle et la rouille s'installe,
Photo de droite: les tôles se percent entraînant des écoulements ponctuels sur les murs et l'humidification des bois de charpente.

2. Action du vent

Abomey est régulièrement soumise à des vents assez forts, toutefois, de temps en temps (espacés par plusieurs années) des vents très violents peuvent affecter les constructions.
Les facteurs que sont la végétation, le relief et les autres constructions peuvent réduire la vitesse des vents mais aussi entraîner des accélérations localisées très destructrices qu'il est difficile de prévoir et de maîtriser.
Le vent agit sur les constructions par son action dynamique, principalement sur les toitures qui finissent par ne plus protéger la structure contre l'eau de pluie.

Toiture détruite par le vent.

2.1. Efforts exercés par le vent

Les efforts exercés sur des parties de la construction sont de deux ordres: poussées horizontales et aspiration.
Les poussées horizontales s'exercent sur les murs et sur les toitures. Ces poussées peuvent entraîner la chute de murs non chargés (clôture ou ruines) et sollicitent les arbalétriers des charpentes.
L'aspiration se fait sur les toitures (dans leur ensemble). Les toitures mal ancrées sur les murs peuvent être déplacées, voire complètement arrachées.
Les poussées horizontales sont d'autant plus fortes que la pente de l'élément de construction est plus verticale alors que l'aspiration augmente avec une diminution de la pente.

Déformation d'une toiture sous la pression du vent; l'affaiblissement des bois de charpente par les termites facilite ce phénomène.

2.2. Arrachement

L'arrachement de matériaux de construction se fait souvent progressivement, commençant par un phénomène de vibration qui desserre progressivement la liaison entre des matériaux légers, susceptibles d'être arrachés et leur support. Le phénomène d'arrachement est souvent similaire à celui d'aspiration.

Les matériaux de construction concernés sont :

- les tôles ondulées fixées par des clous surtout s'il s'agit de clous non spéciaux,
- la paille des toitures en chaume fixées par des lianes végétales,
- les portes et volets de fenêtre.

L'arrachement d'éléments de la couverture ôte la protection contre l'eau de pluie des autres éléments : charpente, murs, sols, plafonds, etc... , et des stagnations d'eau peuvent se produire à l'intérieur des bâtiments.
L'arrachement de portes et/ou de volets entraîne des dégradations dans les murs et les enduits.

Arrachement des tôles.

2.3. Transport de matériaux

Le vent a aussi une bonne capacité pour transporter nombre de matières et dans certain cas sur des distances assez importantes telles que des poussières qui se redéposent sur les bâtiments. La poussière de latérite contenant des élément Fe2O3 engendre avec l'eau un effet pile qui permet l'attaque des tôles. Il peut également transporter des particules incandescentes et de fait, engendrer la prise d'un incendie, à savoir que le vent accélère l'action destructrice du feu.

Le vent renforce l'érosion de la pluie en la détournant de sa course verticale.

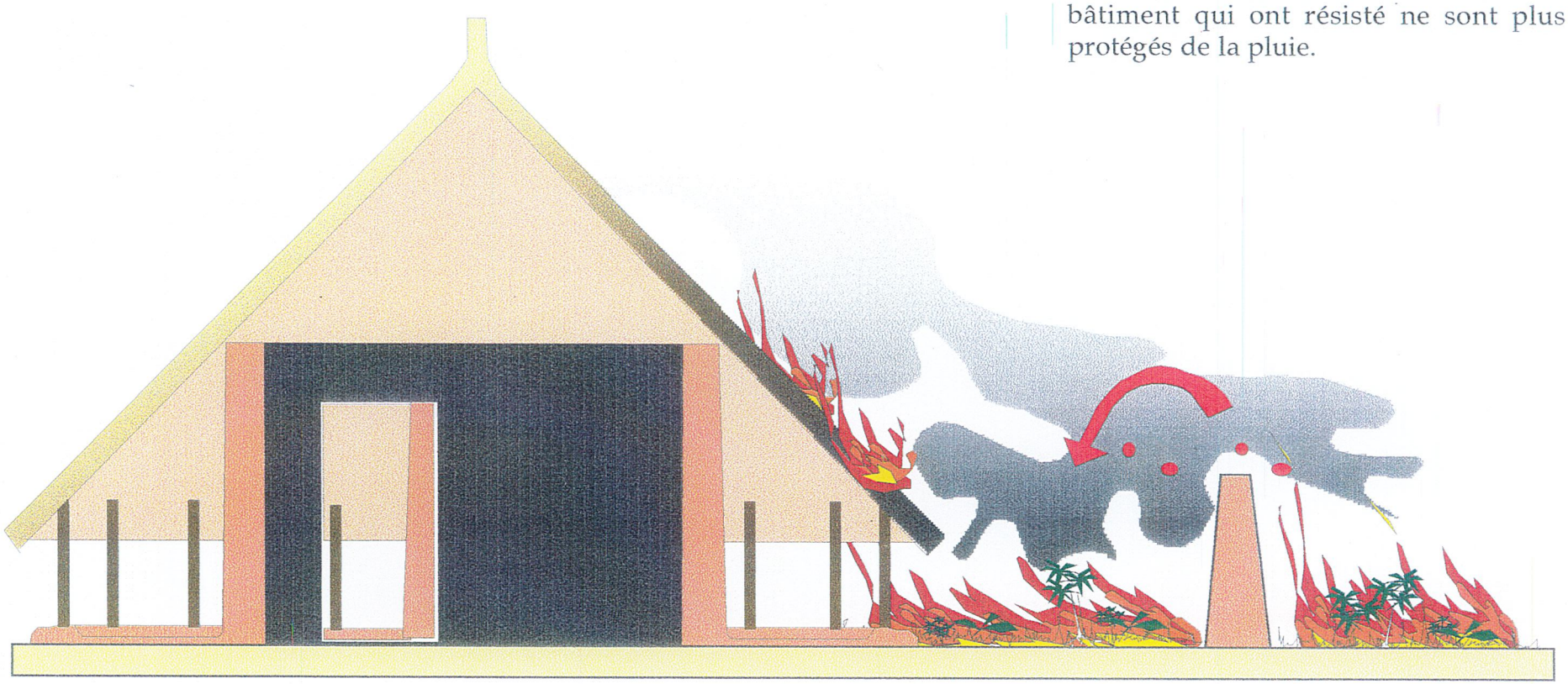
Les eaux de pluies, déviées par le vent, fouettent les murs et les érodent plus rapidement.

3. Action du feu

Le feu est présent à Abomey lors du nettoyage de la brousse et des champs qui entourent les palais, malgré l'interdiction en vigueur.

Celui-ci ne peut atteindre les palais que si le vent transporte les flammèches nécessaires à l'allumage ou si les murs d'enceinte sont recouverts de plantes grimpantes. La présence de végétation autour des bâtiments est donc un facteur très aggravant.

Le feu détruit les faux plafonds et les charpentes ainsi que les autres éléments en bois des bâtiments, portes, volets, planchers. Les chocs thermiques affectent les enduits et les sols. Les éléments stockés à l'intérieur du bâtiment risquent aussi d'être brulés. La toiture détruite, les éléments du bâtiment qui ont résisté ne sont plus protégés de la pluie.



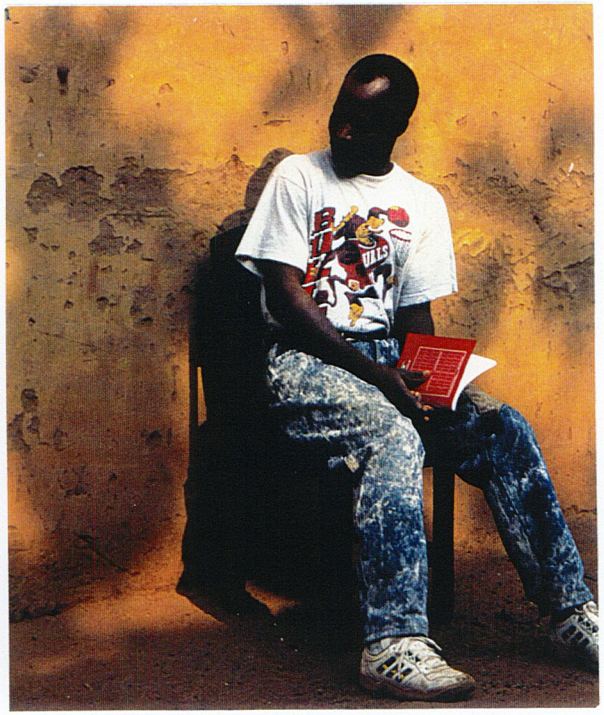
3. Action du feu

Bien que le musée soit protégé par un mur de clôture, le feu peut très facilement pénétrer dans l'enceinte du musée grâce aux nombreuses lianes qui recouvrent ces murs, comme cela fût le cas avec la salle des armes (photo de droite).

4. Action de l'homme

Paradoxalement, l'homme participe aussi à la dégradation des bâtiments par son inaction face au développement de processus dont certains sont pourtant très visibles. Actuellement, les interventions faites sur les palais royaux d'Abomey sont des actions ponctuelles de restauration ou de reconstruction.

De plus, ces travaux sont la plupart du temps réalisés à l'occasion de l'organisation de cérémonies qui sont de plus en plus espacées du fait des difficultés économiques actuelles. De fait, de nombreuses dégradations en cours sont mal repérées et les dégradations "en chaîne" se développent très facilement.



Si les cas les plus évidents sont ceux faisant suite aux dégradations des toitures ou de la base des constructions, tous les éléments des bâtiments, du fait de leur interdépendance sont concernés par les dégradations.

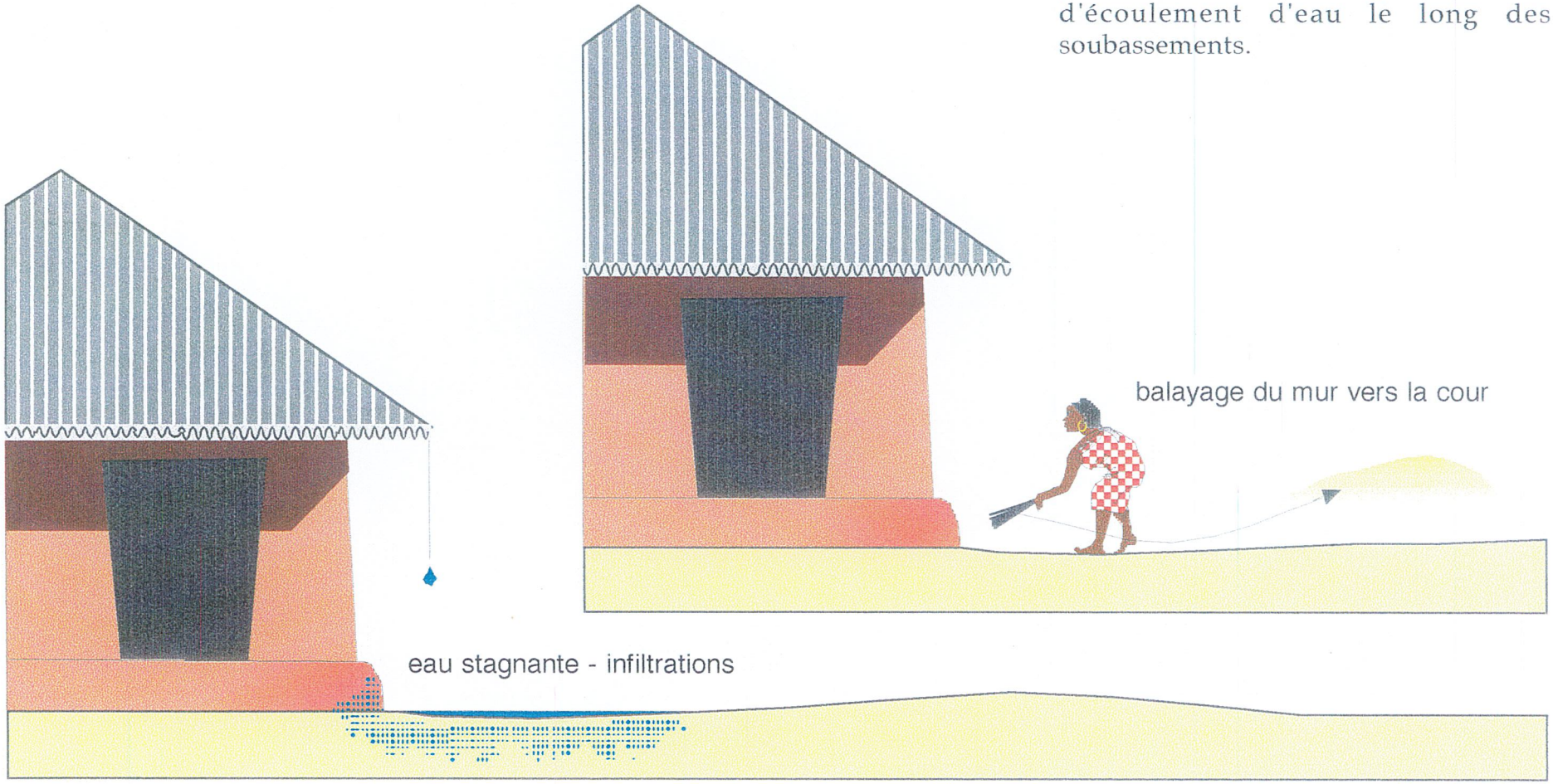
L'homme n'a pas une activité destructrice en tant que tel mais contribue à l'usure de certains éléments des construction. Les sols des constructions qui ne sont pas traités spécifiquement sont usés par le passage. Toutefois, la plupart d'entre eux ont été traités soit par une couche de sable, soit par des chapes. Le sol du Tombeau du roi Glélé est le seul ayant son revêtement original en kaolin. Il est protégé du fait que les visiteurs doivent ôter leurs chaussures avant d'entrer.
Les portes et fenêtres sont sollicitées à chaque manipulation, principalement au niveau de leur fixation dans les murs.
Les chaises adossées aux murs participent également à l'usure.

Usure des sol set des murs due à la présence de l'homme.

4. Action de l'homme

Le balayage des feuilles dans les cours se fait presque journellement, ce qui entraîne à la longue une modification de la topographie du sol.

Par tradition, il se fait toujours en se déplaçant de la construction vers la cour, favorisant la formation de pentes vers les bâtiments et donc les possibilités de stagnation ou d'écoulement d'eau le long des soubassements.



4. Action de l'homme

L'homme a une tendance, semble-t-il naturelle, à stocker nombre d'objets à proximité des structures. Ces stockages sont dangereux pour diverses raisons :

- ils peuvent provoquer des rejaillissements d'eau sur les murs,
- ils engendrent des remontées capillaires importantes (stockage de sable),
- ils facilitent l'installation des rongeurs,
- ils attirent les termites (stockage de bois),
- ils gênent la circulation des eaux.

Stockage de sable (photo de gauche) et de bois (photo de droite) à proximité des murs.

Les amas de feuilles et de branches à proximité des murs peuvent empêcher le bon écoulement des eaux de ruissellement, favoriser les stagnations d'eau et donc diverses dégradations.

A long terme, les amas de plantes et de sable peuvent exercer des poussées considérables sur les murs contre lesquels ils ont été stockés.

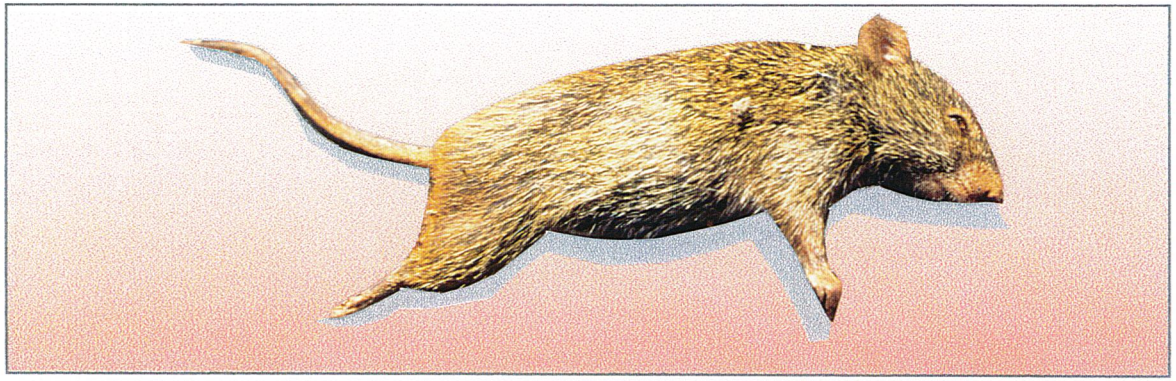
Le mur, dont la base est affaiblie par l'humidité qui est maintenue par ce sol spongieux ne peut pas résister aux forces latérales et cède.

A certains endroits, la différence de niveau entre les deux côtés du mur dépasse un mètre.

La base du mur est enfouie des deux côtés sous des déchets de sable et de plantes; ce sol spongieux a les mêmes effets qu'un talus détritique.

Des déchets ont été déposés contre une face du mur sur une très grande hauteur, entraînant des poussées considérables qui ont fait céder le mur.

4. Action de l'homme



La chasse aux rats.

La chasse aux rats entraîne des dégâts impressionnants. Ils n'est pas rare de voir des pans entiers de murs qui ont été brûlés ou détruits. pour attraper un rat.
Indirectement, l'homme participe à l'installation de ces rats lorsqu'il dépose des branches ou lorsqu'il laisse la végétation se développer contre les murs. Les rats ne s'installent pas dans les parties exposées mais cherchent des endroits abrités pour creuser leurs terriers.

Exemple de trou laissé après la chasse d'un rat. Mur d'enceinte du palais d'Agoli-Agbo.

5. Action des végétaux

5.1. Champignons

Les champignons, souvent microscopiques et donc invisibles, se développent sur les bois en s'en nourrissant. Le développement des champignons favorisé par l'humidité peut entraîner deux phénomènes, l'affaiblissement des pièces de bois et la destruction par les termites.

Développement de champignons sur une charpente.

5.2. Mousses

Les mousses se développent sur tous les matériaux de construction dès lors qu'ils sont régulièrement humides. Elles ne dégradent pas directement les matériaux mais ralentissent le séchage et facilitent les dégradations dues à l'humidité.

Développement de mousses sur la base d'un mur.

5.3. Herbes et plantes

Le pourrissement des plantes engendre une production de produits chimiques et d'humus qui au fil du temps s'accumulent et peuvent devenir actifs.
Les produits chimiques fabriqués attaquent quasiment tous les matériaux de construction, y compris le ciment et le métal.

Les matières végétales décomposées favorisent le développement de sols spongieux (terre végétale ou humus) qui peuvent absorber de grandes quantités d'eau. Cela facilite l'infiltration et donc le risque de remontées capillaires dans les murs puis le développement ultérieur de nouvelles plantes.

Les matières végétales décomposées permettent le développement des micro-organismes et des champignons qui attaquent aussi les bois et attirent les insectes et principalement les termites.
Si les plantes ont la propriété de consommer de l'eau, et donc d'assécher leur environnement, inversement elles conservent l'humidité en retardant la capacité d'évaporation d'un support humide.

Terres sableuses (talus détritiques) transformées en humus par l'action des plantes.

5.3. Herbes et plantes

Développement de plantes sur les toitures.

Les herbes et plantes se développent principalement au niveau du sol, mais du fait de l'action du vent qui est capable de transporter des graines, elles peuvent pousser au sommet des murs non protégés par des couvertures, mais aussi sur les toitures, et ce principalement sur les toitures de chaume.
Les plantes attaquent les matériaux de construction principalement du fait du développement de leurs racines qui pénètrent dans les interstices naturels et les agrandissent.

Développement de plantes sur une toiture de chaume.

5.3. Herbes et plantes

Les plantes grimpantes.

Des plantes grimpantes poussent sur les parties non entretenues du musée. Si ces plantes ne semblent pas avoir d'effect direct sur les murs, elles ont le désavantage d'envahir très rapidement de grandes parties de terrain, ce qui empêche la circulation et freine l'entretien.

Ces plantes sont très dangereuses car elles passent par dessus les murs et transmettent les feux de brousses.
D'autre part, elles favorisent l'installation des rats en recouvrant les murs et en empêchant le déplacement des hommes. Cette seule installation des rats peut provoquer de nouveaux feux de brousse (chasse aux rats) et déclencher des réactions en chaîne catastrophiques.

Mur d'enceinte du musée recouvert de plantes grimpantes.

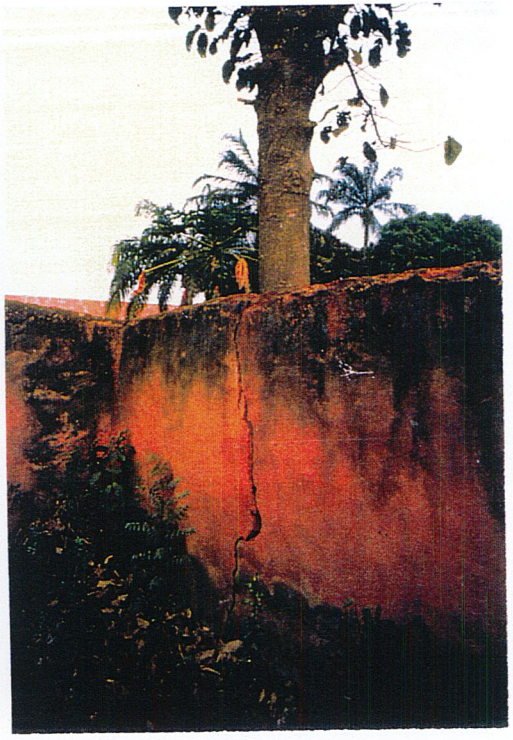
5.4. Arbres

Beaucoup d'arbres de différentes espèces ont été plantés ou poussent naturellement dans et autour de l'enceinte des palais de Guezo et de Glélé. La reproduction d'arbres est très facile dans le climat tropical humide d'Abomey.

Les arbres attaquent très directement les constructions lorsque les racines atteignent les fondations. Si celles-ci se développent, elles affaiblissent les fondations, ce qui peut mettre en danger la stabilité de la structure.

A long terme, certains arbres arrivent à soulever la fondation ce qui peut engendrer des désordres structuraux très graves.

Arbres enracinés dans des fondations de murs d'enceinte.



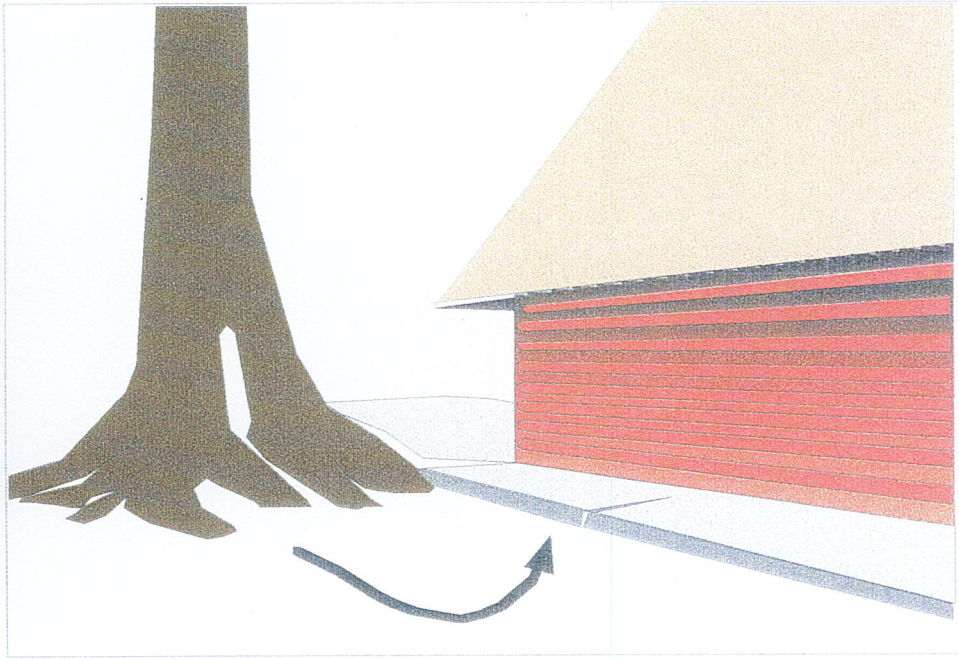
Murs de clôtures détériorés par l'action des arbres.

5.4. Arbres

Plus indirectement, les racines des arbres qui soulèvent le sol modifient la topographie et donc les zones d'écoulement des eaux de pluies.

La plupart des arbres forment des zones d'ombres assez importantes qui empêchent l'évaporation et favorisent donc la présence d'humidité.

Dans certains cas, l'eau est déviée vers les constructions, ce qui peut provoquer des zones de stagnation et favoriser l'infiltration dans le sol.



Les racines d'arbres peuvent soulever les fondations et modifier la topographie autour des bâtiments, jusqu'à créer des zones de stagnation d'eau (Nigéria).

5.4. Arbres

Certains bâtiments sont attaqués par le haut par des arbres cassés ou des branches tombantes qui, par leurs poids détériorent les toitures et leurs supports.

Les arbres affectent également les bâtiments par le haut.

5.4. Arbres

Les branches des arbres peuvent êtres cassées lors des fortes intempéries qui affectent la région. Si ces branches sont transportées par des écoulements d'eau importants, elles seront transportées jusqu'aux passages sous les murs, pouvant entraîner un bouchage et la formation d'une nappe d'eau stagnante qui risque alors d'affecter directement le mur (de chaque côté du passage), mais aussi les constructions situées à proximité.

Enfin, les arbres produisent des feuilles en grande quantité. Le ramassage de ces feuilles au sol est un travail énorme qui monopolise une grande partie du temps de travail d'entretien.

Ce travail est actuellement quasiment impossible à réaliser en totalité, ce qui fait qu'en de nombreux endroits ces feuilles pourrissent et produisent des matières végétales en décomposition. Ces dépôts de feuilles ne se font pas seulement au niveau du sol mais aussi sur les toitures de pente faible et dans les zones où les branches font barrage.

Les matières végétales décomposées favorisent le développement de sols spongieux (terre végétale ou humus) qui peuvent absorber de grandes quantités d'eau d'où l'infiltration et donc le risque de remontées capillaires dans les murs. Cela favorise le développement ultérieur de plantes, de micro-organismes et de champignons qui attaquent aussi les bois et attirent les termites. De même, lorsque les arbres menaçant les constructions sont coupés, le plus souvent les racines restent et dès lors se décomposent, facilitant le développement d'un sol spongieux.

Arbres, feuilles mortes et autre matières végétales envahissant l'arrière de la cour de Glélé.

6. Action des animaux

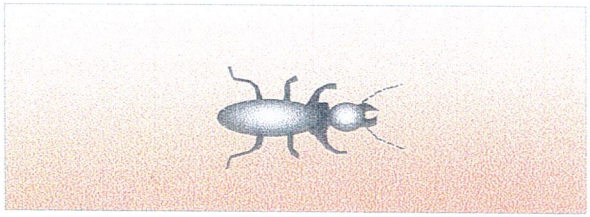
6.1. Les termites

Les principaux insectes qui affectent les palais royaux sont les termites qui sont malheureusement très présentes à Abomey. Ce sont des termites souterraines (certainement des "Termidae") qui pour survivre, ont besoin d'une source d'humidité qu'ils trouvent dans le sol. Ces termites sont capables de faire des galeries ayant jusqu'à 70 m de longueur dans lesquelles elles se déplacent, du nid aux sources d'humidité, puis aux sources d'aliments.

Les termites se nourrissent surtout de bois, mais aussi d'autres matériaux cellulosiques (plantes, feuilles).

N'ayant pas de faune intestinale ces matériaux doivent préalablement être attaqués par des agents de pourriture (champignons et micro-organismes). Il est important de noter que ces agents ne se développent qu'en présence d'humidité qui est donc un facteur très important.

Les termites sont particulièrement destructrices car elles attaquent les bois de charpente, les affaiblissent, et peuvent les détruire complètement. Les pièces de bois ainsi attaquées entraînent des désordres structuraux dans la charpente, ainsi qu'une perte de la fixation des éléments de couverture.

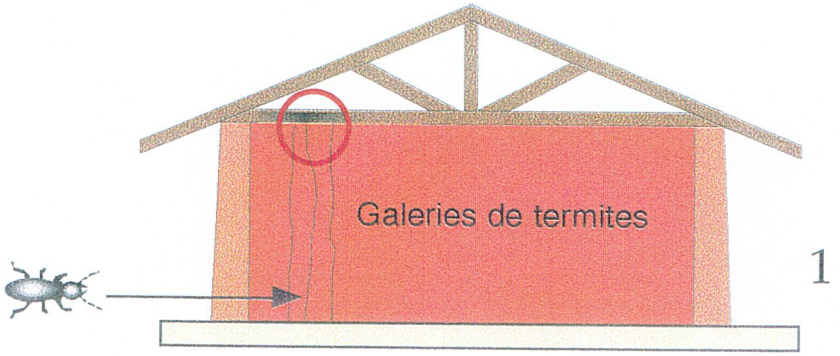


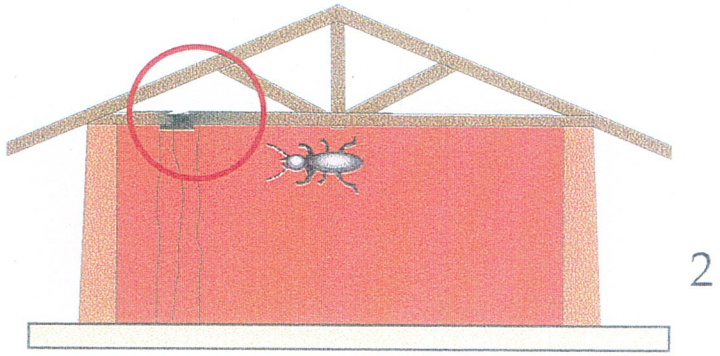
La création de galeries dans les murs, vu leur épaisseur ne peut être considérée comme un problème. Toutefois l'installation d'un nid (non observée) qui a des dimensions beaucoup plus importantes pourrait engendrer un affaiblissement structurel et d'éventuels désordres, particulièrement en cas d'inondation.

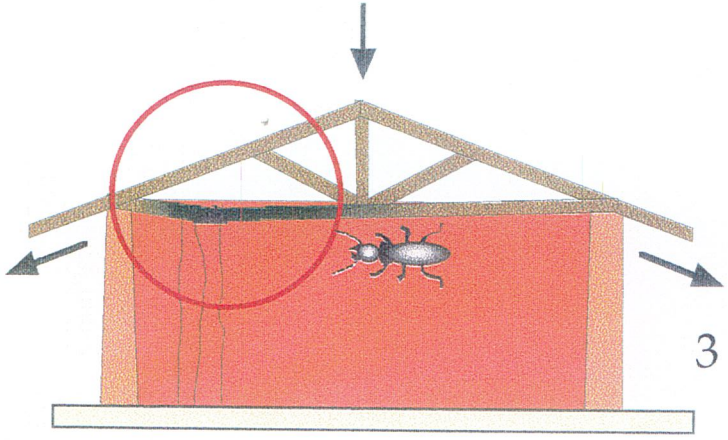
Les termites peuvent aussi attaquer les portes, fenêtres, planchers et plafonds.

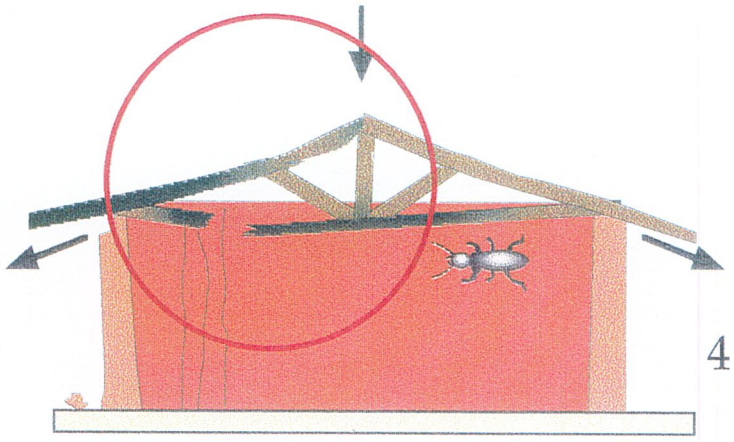
Si la charpente est attaquée au niveau de son entrait, les poussées des albalétriers ne sont plus reprises et elles s'exercent alors sur les murs, tendant à les faire basculer vers l'extérieur.

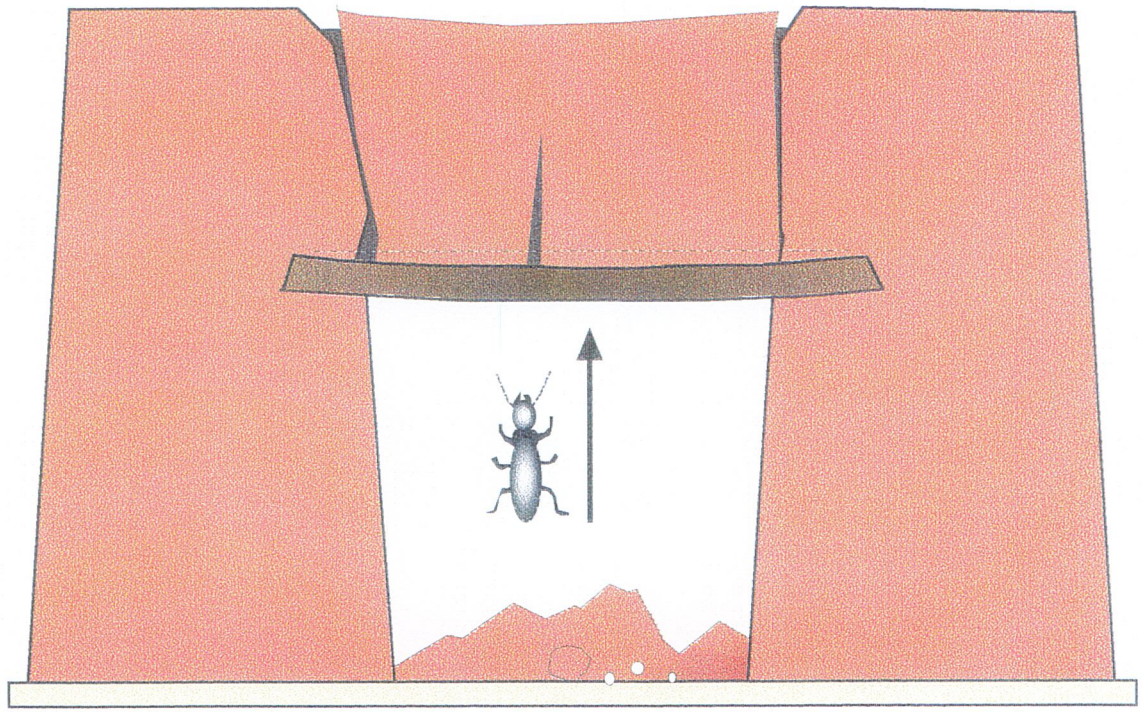
L'altération de la fixation des éléments de couverture facilite grandement les possibilités d'arrachage des éléments de toiture par le vent.









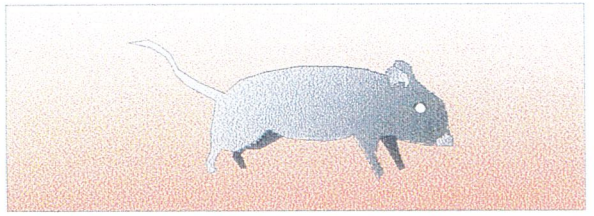


L'attaque des linteaux par les termites entraîne également des problèmes structuraux majeurs.

Galeries de termites reliant le sol au bois de charpente.

Bois (charpente et menuiseries) attaqués par les termites.

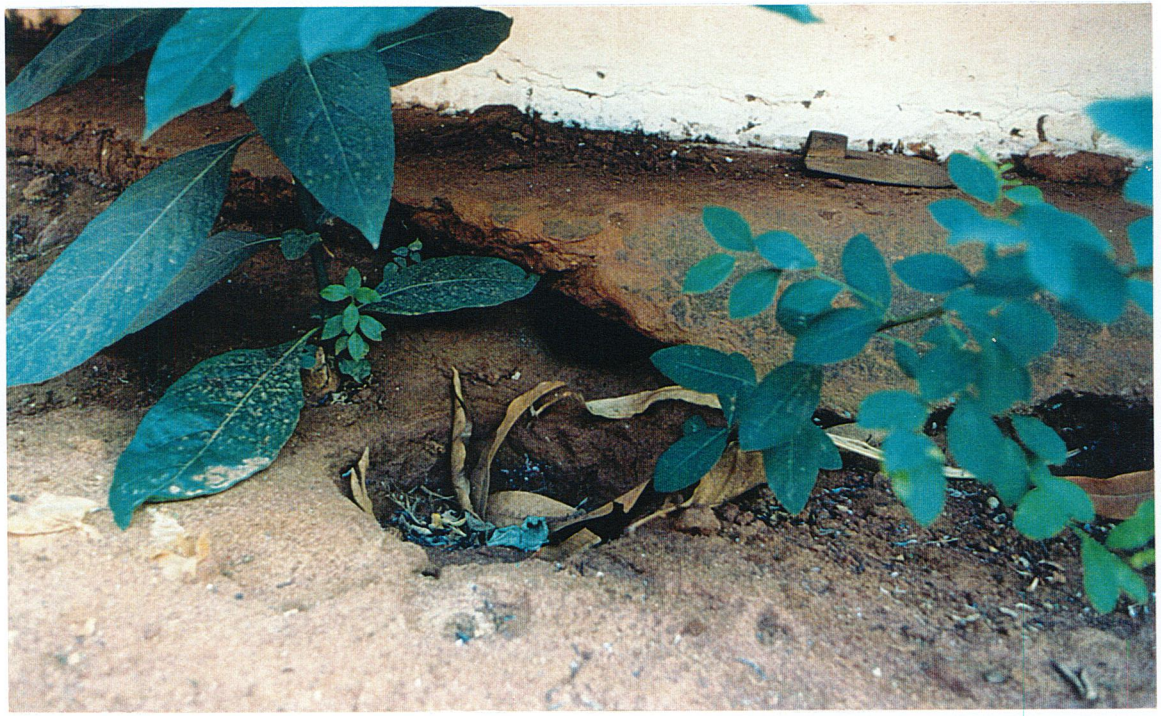
6.2. Les rats



Les animaux agressifs sur les palais d'Abomey sont principalement des rats. Ceux-ci installent leurs terriers dans les murs au niveau du soubassement ou encore dans la partie supérieure de la fondation. Cette installation est favorisée par la présence de terrains assez meubles, humides et mal débroussaillés. Le creusement de ces terriers affaiblit la fondation des bâtiments.

Plus grave est que les terriers entraînent (dépendamment de la topographie du terrain) une augmentation très forte de l'infiltration d'eau au niveau des fondations et donc des risques de désordres structurels.

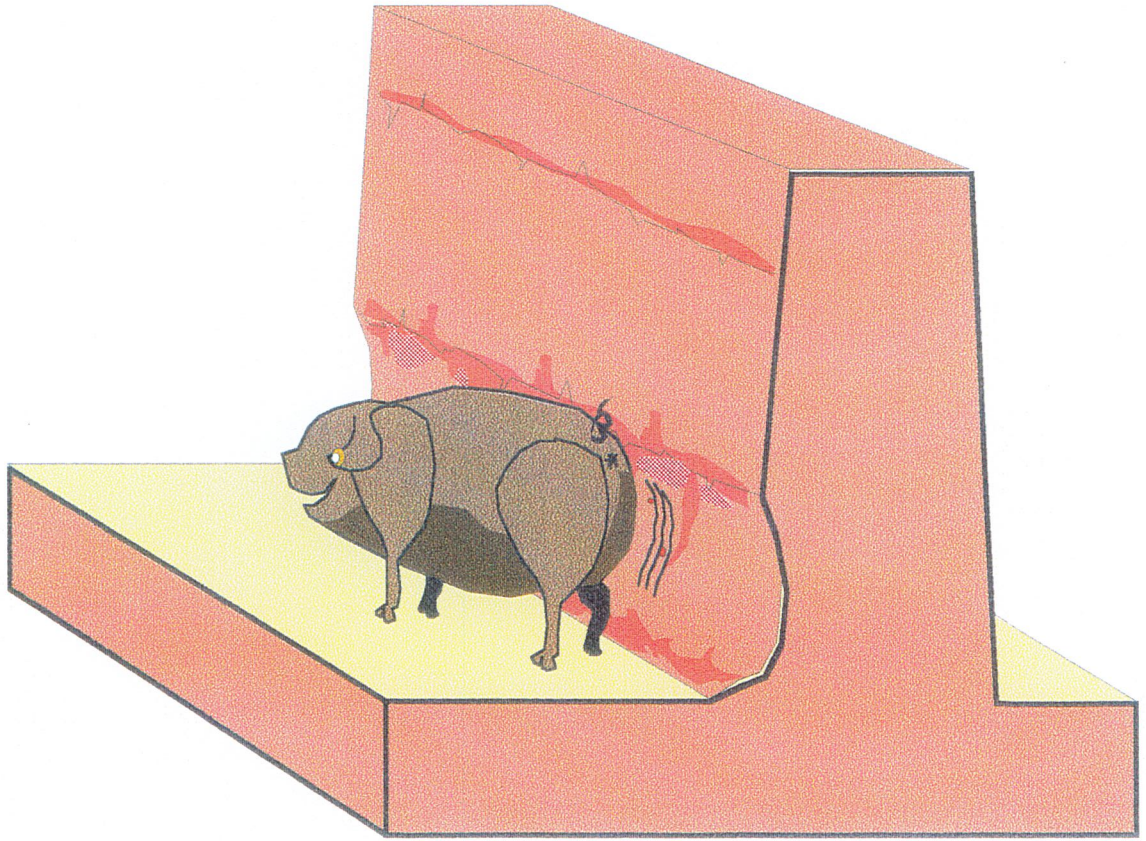
D'autre part, les rats attirent les hommes qui parfois détruisent des portions entières de mur pour les attraper.



Trou de rat sous un talus fragilisé par l'érosion

6.3. Les cochons

Les cochons participent également au processus de détérioration en se frottant aux murs. (Les cochons que l'on retrouve dans l'ensemble des palais royaux sont extérieurs au musée).



6.3. Les cochons

Mur érodé par les cochons.

7. Facteurs aggravants propres aux bâtiments

Outre l'usure normale des bâtiments ou les dégâts occasionnels, les palais royaux d'Abomey ont connu tout au long de leur histoire des destructions plus ou moins importantes, partielles ou complètes, engendrées par des tremblements de terre ou des incendies (le dernier important datant de la chute du roi Behanzin en 1892). Ces palais ont donc connu de nombreuses restaurations ou reconstructions successives.

Hormis les structures les plus récentes telles que l'Adjalala du roi Behanzin, il est donc bien difficile de savoir quelles sont les structures qui sont entièrement ou en partie originales.

Le tombeau de Glélé en 1930 ; le bâtiment dans sa forme originale n'avait pas encore subi de grandes transformations.
(© Albert-Kahn / Département des Hauts-de-Seine, tirage de lecture)

7. Facteurs aggravants propres aux bâtiments

D'autre part, durant le 20ème siècle, les reconstructions ou "améliorations" des palais se sont réalisées dans un contexte culturel et socio-économique en pleine évolution (nouveaux modèles architecturaux, disponibilité des matériaux industriels, difficulté d'organiser l'entretien et le débroussaillage du site et donc accroissement du risque d'incendie).

Gardant la volonté de traiter les rois avec "ce qu'il y a de mieux", et ce parfois au gré des modes, de nouveaux matériaux et de nouvelles formes ont été empruntés, principalement d'origine européenne et plus récemment afro-brésilienne.
Dans son histoire beaucoup plus récente, le musée lui-même n'a pas échappé aux cycles successifs de dégâts importants et de restaurations ou reconstructions. Celles-ci n'ont malheureusement pas toujours été faites sur des bases documentaires suffisantes et ces bâtiments ont donc été successivement modifiés. Sous la pression du nouveau contexte culturel et socio-économique, et dans le souci de ne prendre aucun risque pour les collections qu'ils abritaient, la plupart des bâtiments ont même été radicalement transformés.

Le tombeau de Glélé en 1995 ; ce bâtiment a subi de nombreuses transformations dans ses formes et dans les matériaux utilisés.
Voir photo de ce même bâtiment en 1930, page précédente.

7. Facteurs aggravants propres aux bâtiments

Cet éloignement du concept architectural initial a entraîné l'apparition de nouveaux types de dégradation sur les bâtiments, auxquels des réponses (constructives ou d'entretien) n'ont pas été jusqu'à présent véritablement apportées.

De plus, certaines tentatives pour rendre le musée plus authentique ont mal pris en compte les aspects purement techniques et apportent plutôt de nouveaux problèmes.
Le retour à une architecture beaucoup plus proche du concept d'origine a amélioré cette situation sans pour autant résoudre le problème de la durabilité.
La notion d'entretien régulier n'existant pas vraiment de nos jours, les interventions techniques réalisées sur les bâtiments des palais royaux sont soit des restaurations, soit des reconstructions.

Les Adjalalas de Guézo (à gauche, photo du début du siècle, Musée Royal d'Afrique noire, Tervuren) et de Béhanzin (à droite, état actuel).

Ces interventions sont réalisées en préparation aux cérémonies les plus importantes (souvent très coûteuses). Dans la situation économique actuelle, ces cérémonies, et donc les interventions sur les bâtiments, sont organisées à des intervalles de plus en plus grands et les moyens alloués aux bâtiments sont assez limités.

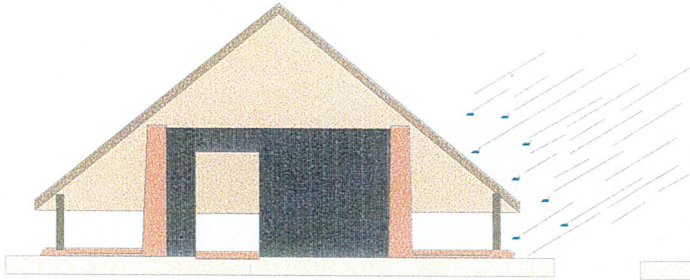
Portique du palais d'Agoli-Agbo. Ce portique, qui connaît des graves déformations structurelles a été repeint sans que la structure soit réparée.

Le résultat de cette situation est que les restaurations ou reconstructions sont peu fidèles aux modèles initiaux, tant dans les formes que dans les dimensions des bâtiments et des structures et sont faites avec des matériaux de qualité médiocre.

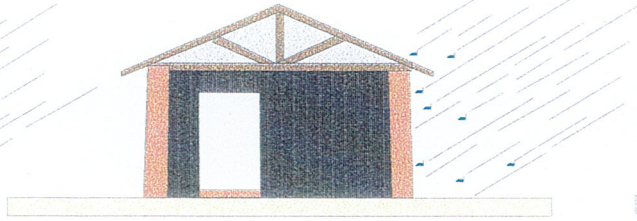
Une autre difficulté vient de la disparition de certains savoir-faire et donc d'obtenir la réalisation correcte de certains travaux. Les savoir-faire traditionnels des toitures de chaume et des enduits en terre sont en voie de disparition car il n'existe plus une demande assez forte sur une ville comme Abomey. En effet, la tendance va plutôt vers une utilisation de matériaux de construction industriels qui sont plus valorisant socialement. A cela est liée la pénurie de certains matériaux de construction comme le ronier ou le bois de fer dont l'exploitation (coupe et replantation) n'a jamais été organisée.

La construction de faux-plafonds en bambou n'existe plus à Abomey alors qu'elle reste très vivace dans nombre de villages aux alentours.

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

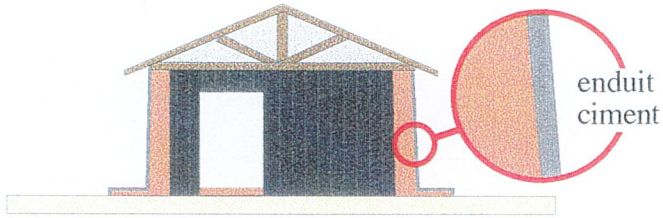


1. Situation initiale:
- véranda
- toiture très basse en chaume
- forte pente de toit
- trottoir en terre damée



2.1. Première évolution:
- suppression de la véranda
- toiture haute en tôle
- faible pente de toit

3. Changements récents:
- surélévation du bâtiment
- véranda
- toiture haute en tôle
- forte pente de toit
- enduit ciment rajouté sur certains bâtiments



2.2. - enduit "ciment"
- terre stabilisée
- trottoirs et banquettes

Les principales étapes dans l'évolution des transformations subies sur les bâtiments.

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Le concept architectural initial

Le concept architectural initial des palais royaux d'Abomey est fait de structures verticales lourdes en "terre de barre", édifiées sur un terrain de bonne qualité et recouvertes d'une toiture en ronier et chaume.

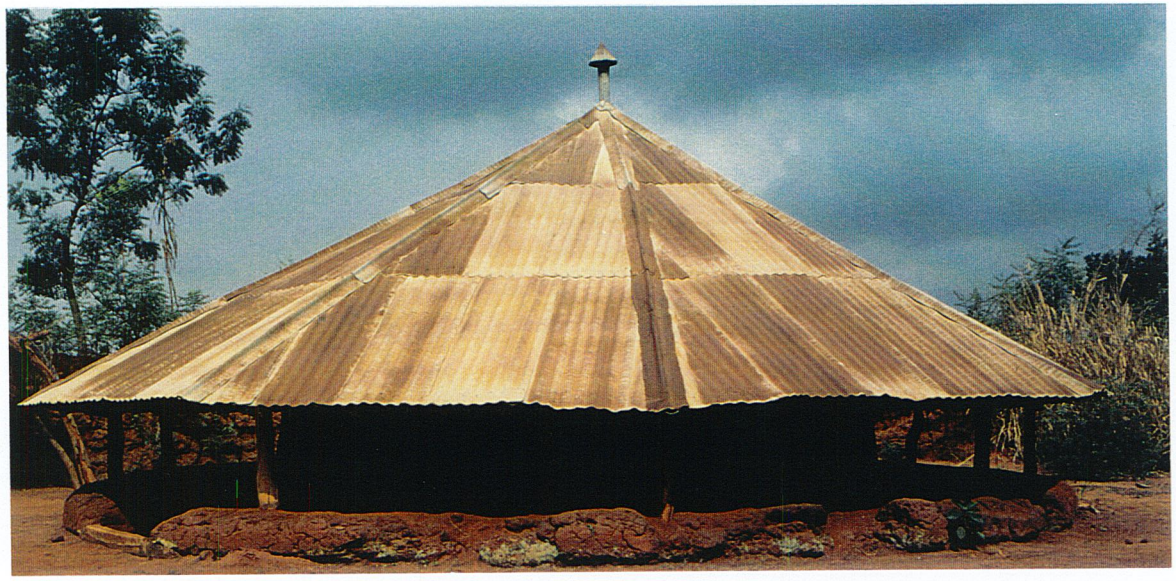
La couverture déborde largement sous forme d'une véranda supportée par des poteaux en bois de fer.

Le soubassement est également bien protégé par un trottoir en terre de barre.

La forte épaisseur des murs, associée à cette très bonne protection du bâtiment a permis le développement de la mise en oeuvre de bas-reliefs peints qui, symbolisant la personnalité des rois successifs et représentant les moments les plus forts de leur règne, forment une des particularités essentielles des palais royaux d'Abomey.

Comme nombre d'architectures traditionnelles, ce modèle constructif devait réussir une symbiose assez parfaite entre les différentes fonctions des bâtiments, culturelle ou cultuelle, et logique technique, socio-économique et environnementale :

- possibilité d'adaptation à diverses formes (plans rond, carré, ou rectangulaire) et dimensions de bâtiments,
- toiture descendant très bas forçant à se courber avant d'entrer, et donc à marquer le respect,
- très bonne protection de la structure principale et de ses bas reliefs,
- large disponibilité des matériaux de construction,
- disponibilité de main-d'oeuvre gratuite pour réaliser l'entretien nécessaire de la couverture de chaume, (tous les 5 à 10 ans) et dans une moindre mesure le trottoir en terre de barre.

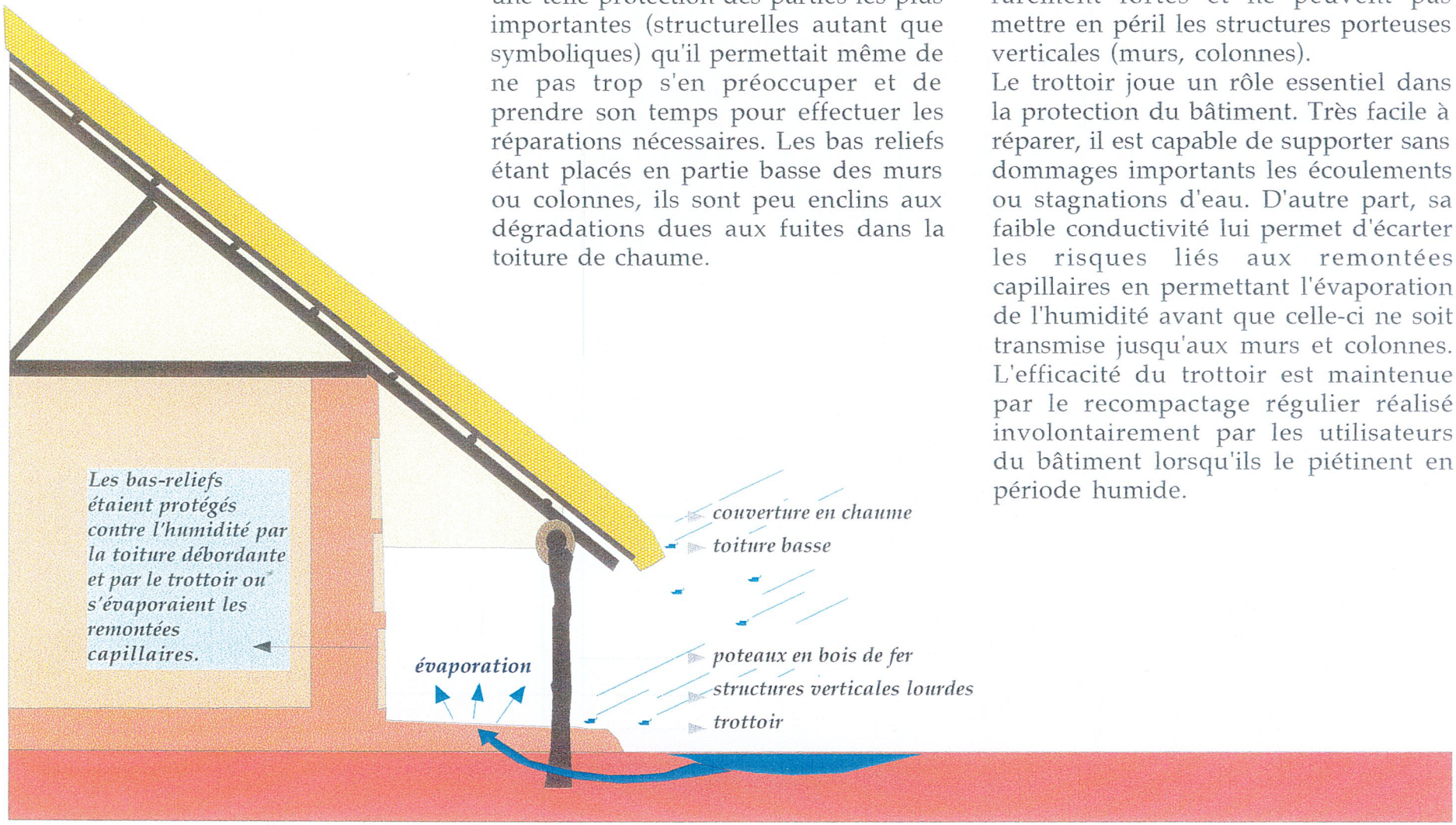


Tombeau du roi Akaba ; le trottoir qui absorbe toutes les dégradation protège le reste de la structure.

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

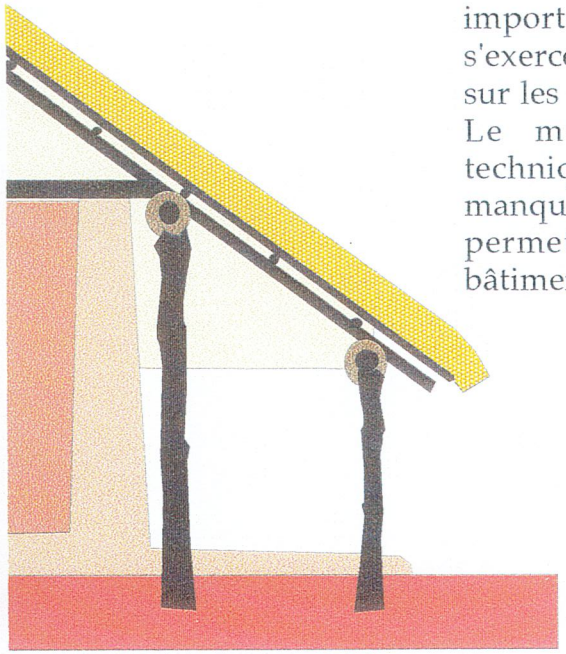
Le concept de ces bâtiments formait une telle protection des parties les plus importantes (structurelles autant que symboliques) qu'il permettait même de ne pas trop s'en préoccuper et de prendre son temps pour effectuer les réparations nécessaires. Les bas reliefs étant placés en partie basse des murs ou colonnes, ils sont peu enclins aux dégradations dues aux fuites dans la toiture de chaume.

Les coulures dues à ces fuites sont rarement fortes et ne peuvent pas mettre en péril les structures porteuses verticales (murs, colonnes).
Le trottoir joue un rôle essentiel dans la protection du bâtiment. Très facile à réparer, il est capable de supporter sans dommages importants les écoulements ou stagnations d'eau. D'autre part, sa faible conductivité lui permet d'écarter les risques liés aux remontées capillaires en permettant l'évaporation de l'humidité avant que celle-ci ne soit transmise jusqu'aux murs et colonnes. L'efficacité du trottoir est maintenue par le recompactage régulier réalisé involontairement par les utilisateurs du bâtiment lorsqu'ils le piétinent en période humide.



7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Cette photographie de la véranda du tombeau du roi Glélé, prise en 1930 montre qu'une série de poteaux longeait le mur circulaire. Ces poteaux soutiennent un chaînage végétal qui transmet la charge de la toiture.



Par conséquent, le mur n'est qu'un voile non porteur indépendant de la couverture, ce qui le protège d'avantage des fuites d'eau. Grâce à ce système constructif, l'eau qui pourrait fuir de la couverture de chaume est canalisée sous les chevrons et s'évacue à l'extérieur et dans une moindre mesure dans le chaînage.

Dans le cas d'une déformation importante de la toiture, les poussées s'exerceront non pas sur les murs mais sur les poteaux.
Le mur semble donc avoir été techniquement privilégié; toutefois, le manque de documents anciens ne nous permet pas d'affirmer que tous les bâtiments étaient conçus ainsi.

Seuls les Djé-hos de Ghézo et de Glélé présentent encore cette structure.

Le tombeau de Glélé en 1930 (© Albert-Kahn/Département des Hauts-de-Seine, tirage de lecture).

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Premières transformations majeures

Au fil des années les bâtiments ont connu beaucoup de transformations, soit d'ordre typologique, soit dans le choix des matériaux de construction employés.

La transformation la plus marquante a été le remplacement de la couverture de chaume par la couverture de tôle.

Cette modification a souvent été liée à la suppression de la véranda (y compris le trottoir) et à une modification très sensible de la pente du toit. Cette transformation a entraîné de très importantes modifications dans le comportement des bâtiments face aux agressions extérieures, et plus particulièrement les agressions de l'eau et du vent, éventuellement combinées.

Les couvertures de tôles permettent de réaliser des toits de faible pentes qui sont alors fiables (dans le sens où elles ne laissent pas passer l'eau de pluie) et plus économiques que des toits plus élancés (moins de bois de charpente et tôles elles-mêmes). Malheureusement, ces toits sont extrêmement sensibles au vent du fait de leur faible pente et sont facilement arrachés s'ils sont mal ancrés, ce qui est arrivé sur beaucoup de bâtiments.

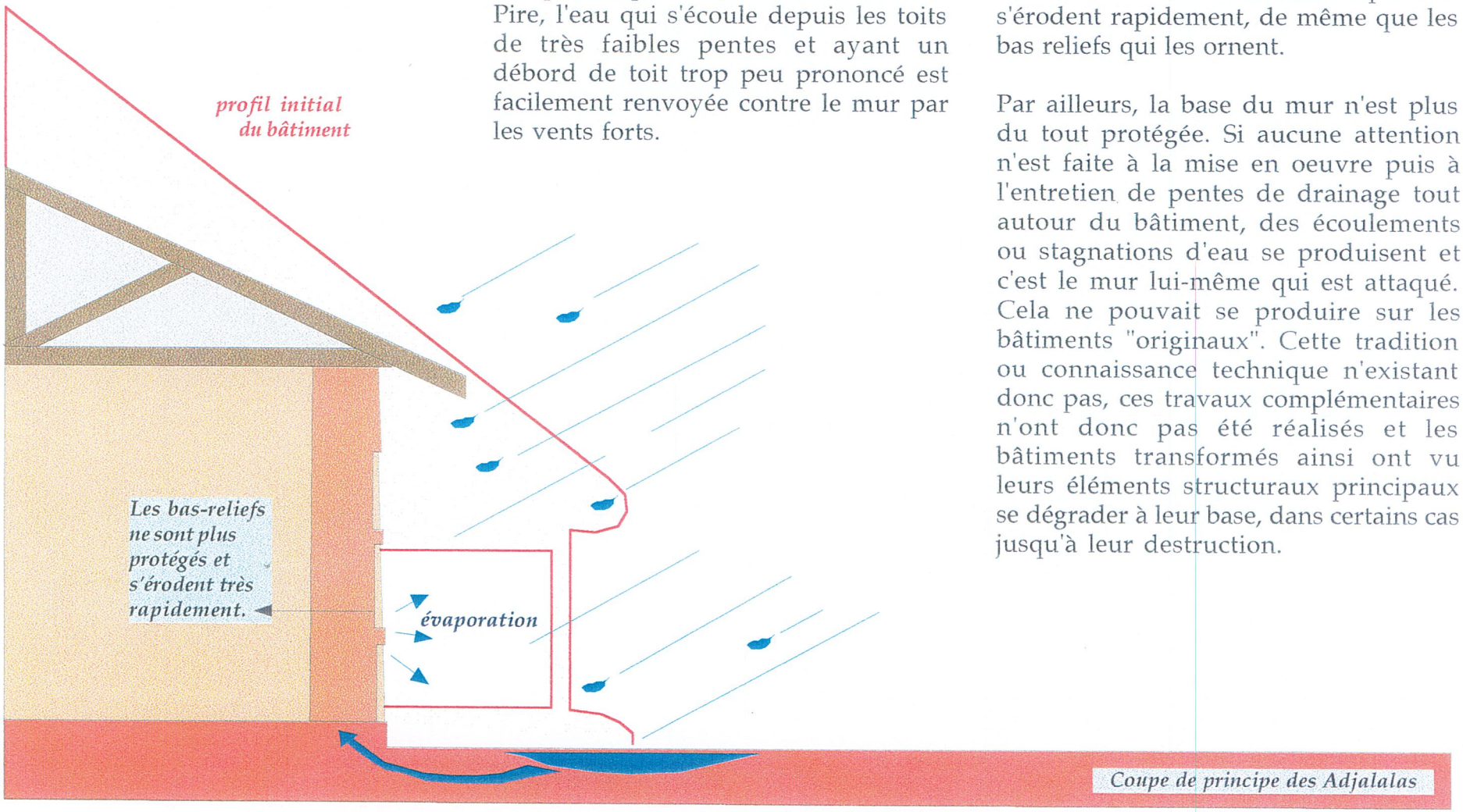
L'Adjalala du roi Glélé en 1966.
(© C. Savary, Musée d'ethnographie, Genève.

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Les murs ne sont plus bien protégés des pluies qui sont souvent battantes. Pire, l'eau qui s'écoule depuis les toits de très faibles pentes et ayant un débord de toit trop peu prononcé est facilement renvoyée contre le mur par les vents forts.

Les murs ou colonnes qui sont orientés face au vent sont dès lors très exposés et s'érodent rapidement, de même que les bas reliefs qui les ornent.

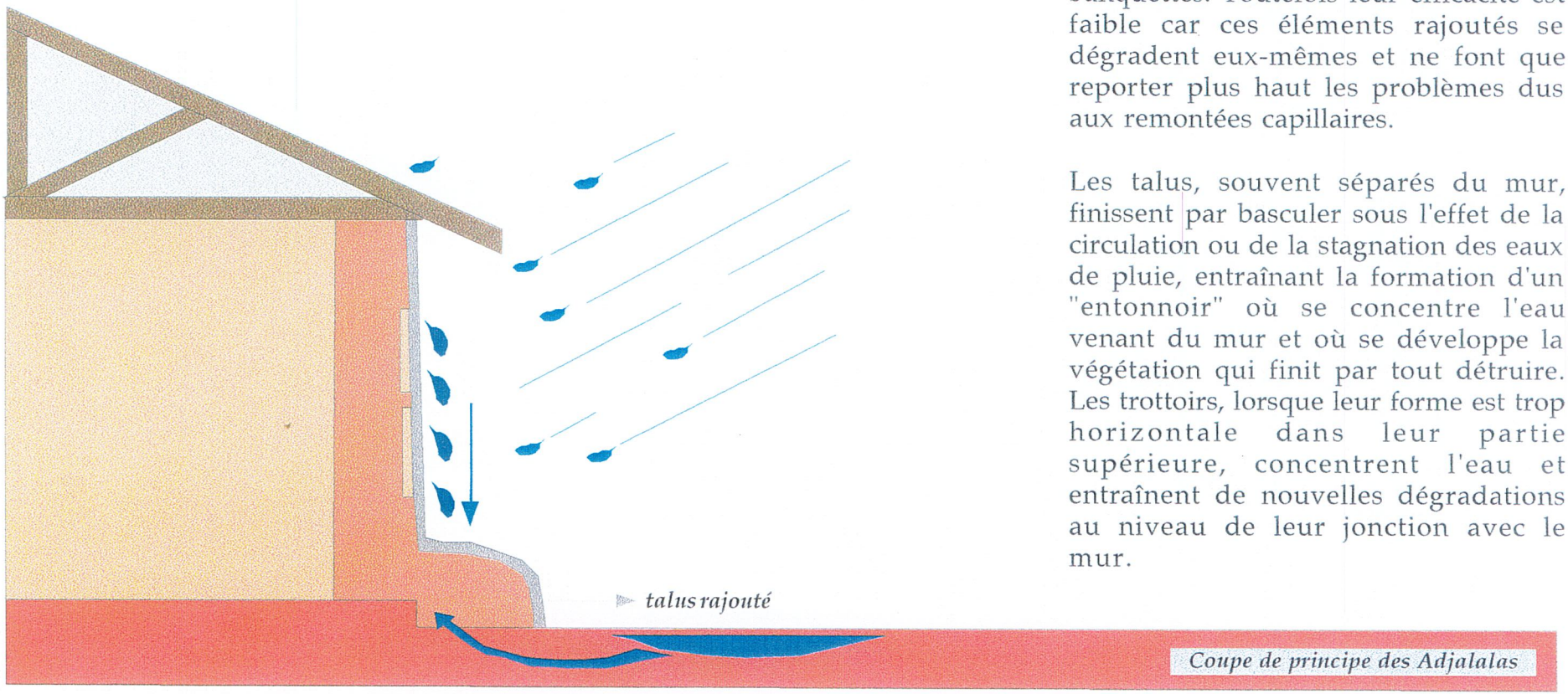
Par ailleurs, la base du mur n'est plus du tout protégée. Si aucune attention n'est faite à la mise en oeuvre puis à l'entretien de pentes de drainage tout autour du bâtiment, des écoulements ou stagnations d'eau se produisent et c'est le mur lui-même qui est attaqué. Cela ne pouvait se produire sur les bâtiments "originaux". Cette tradition ou connaissance technique n'existant donc pas, ces travaux complémentaires n'ont donc pas été réalisés et les bâtiments transformés ainsi ont vu leurs éléments structuraux principaux se dégrader à leur base, dans certains cas jusqu'à leur destruction.



Coupe de principe des Adjalalas

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Les réponses données à ces nouveaux problèmes ont pratiquement toujours été orientées vers l'élimination des effets plutôt que vers l'élimination des causes.



Coupe de principe des Adjalalas

Trottoirs et talus

Une nouvelle étape de la transformation typologique des palais royaux a consisté à installer autour de la base des murs soit des trottoirs soit des talus de protection, ou encore des banquettes. Toutefois leur efficacité est faible car ces éléments rajoutés se dégradent eux-mêmes et ne font que reporter plus haut les problèmes dus aux remontées capillaires.

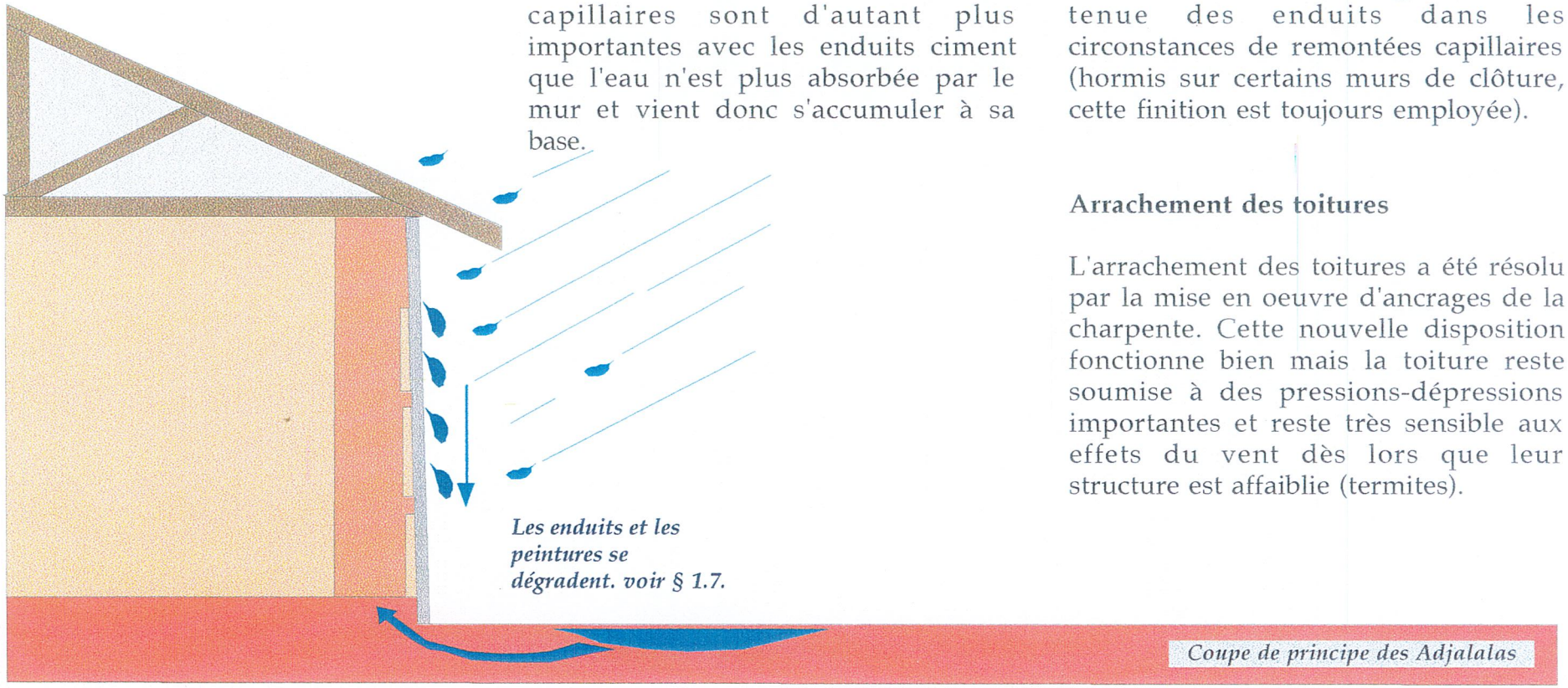
Les talus, souvent séparés du mur, finissent par basculer sous l'effet de la circulation ou de la stagnation des eaux de pluie, entraînant la formation d'un "entonnoir" où se concentre l'eau venant du mur et où se développe la végétation qui finit par tout détruire. Les trottoirs, lorsque leur forme est trop horizontale dans leur partie supérieure, concentrent l'eau et entraînent de nouvelles dégradations au niveau de leur jonction avec le mur.

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Enduits

Pour ce qui est de l'érosion des murs, la solution trouvée a été de les protéger avec un enduit "en dur" fait de sable et de ciment.

Cet enduit protège effectivement les murs des pluies battantes, mais dès lors que des remontées capillaires se produisent, il se décolle et tombe sans éviter les dégradations à la base des murs et colonnes. Les remontées capillaires sont d'autant plus importantes avec les enduits ciment que l'eau n'est plus absorbée par le mur et vient donc s'accumuler à sa base.



Les enduits et les peintures se dégradent. voir § 1.7.

Coupe de principe des Adjalalas

Terre stabilisée

Une autre option a été d'utiliser du ciment pour stabiliser les murs de terre. Cette solution est efficace en ce qui concerne la durabilité des murs sous l'influence de l'eau ou de l'humidité mais ne résout en rien les problèmes de tenue des enduits dans les circonstances de remontées capillaires (hormis sur certains murs de clôture, cette finition est toujours employée).

Arrachement des toitures

L'arrachement des toitures a été résolu par la mise en oeuvre d'ancrages de la charpente. Cette nouvelle disposition fonctionne bien mais la toiture reste soumise à des pressions-dépressions importantes et reste très sensible aux effets du vent dès lors que leur structure est affaiblie (termites).

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Forme actuelle des bâtiments

La plupart des bâtiments sont actuellement révisés avec un retour à une conception beaucoup plus traditionnelle. On retrouve des pentes de toit fortes et une véranda périphérique. Toutefois, semble-t-il pour permettre une facilité de circulation sous la véranda et pour permettre la vision de l'intérieur depuis l'extérieur et vice-versa, l'ensemble est actuellement surélevé d'environ 1 mètre. Si il n'y a aucun problème technique pour ce qui est des murs, se pose le problème de la disponibilité de bois de fer de hauteur et de section suffisante pour supporter ces vérandas.

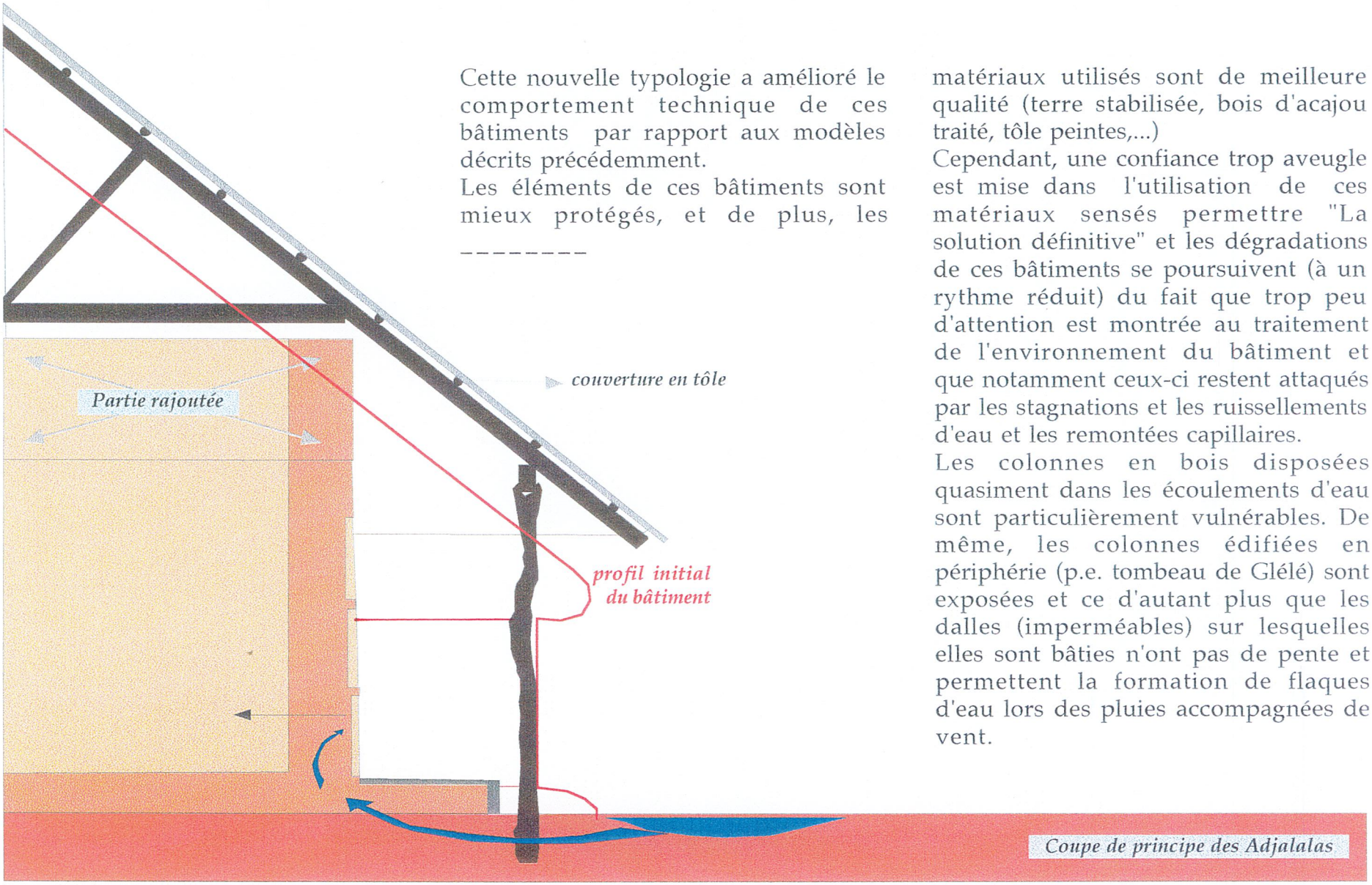
De fait, la conception des charpentes actuelles est très différente de ce qu'elle était à l'origine et les poteaux périphériques ne supportent plus la véranda, celle-ci étant simplement reprise par le débord très important des fermes (ce qui pourrait d'ailleurs poser des problèmes d'arrachement en cas de vent très fort, bien que depuis leur construction -déjà 15 ans- rien ne se soit produit).

La salle des trônes : les poteaux en bois de fer difficile à trouver sont plantés dans la zone d'écoulement des eaux de pluie et les trottoirs enduits forment des flaques d'eau stagnante en période de pluies.

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

Deux aspects de la véranda: la structure originelle (à gauche) et le bâtiment surélevé (à droite).

7.1. Evolution et transformations subies sur les bâtiments

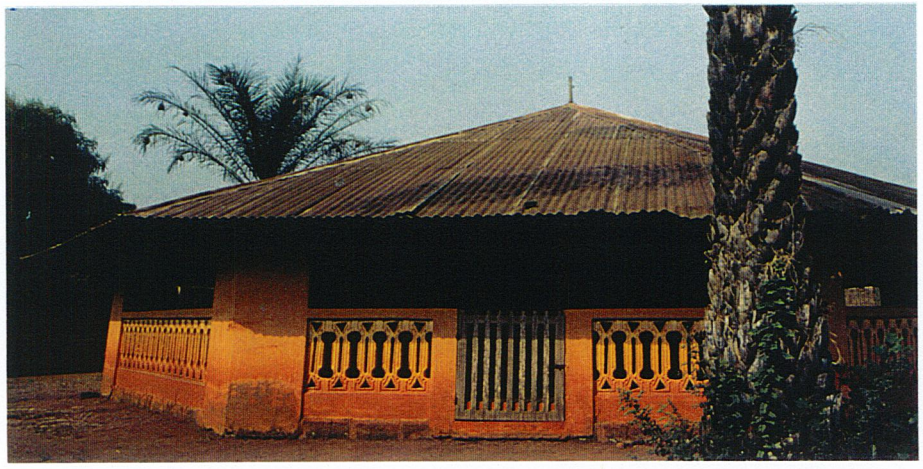


Coupe de principe des Adjalalas

Cette nouvelle typologie a amélioré le comportement technique de ces bâtiments par rapport aux modèles décrits précédemment.
Les éléments de ces bâtiments sont mieux protégés, et de plus, les matériaux utilisés sont de meilleure qualité (terre stabilisée, bois d'acajou traité, tôle peintes,...)
Cependant, une confiance trop aveugle est mise dans l'utilisation de ces matériaux sensés permettre "La solution définitive" et les dégradations de ces bâtiments se poursuivent (à un rythme réduit) du fait que trop peu d'attention est montrée au traitement de l'environnement du bâtiment et que notamment ceux-ci restent attaqués par les stagnations et les ruissellements d'eau et les remontées capillaires.
Les colonnes en bois disposées quasiment dans les écoulements d'eau sont particulièrement vulnérables. De même, les colonnes édifiées en périphérie (p.e. tombeau de Glélé) sont exposées et ce d'autant plus que les dalles (imperméables) sur lesquelles elles sont bâties n'ont pas de pente et permettent la formation de flaques d'eau lors des pluies accompagnées de vent.

7.2. Toitures

L'érosion devient très rapide lorsque la pluie est rabattue par le vent



Les toitures en tôles à faible pente sont beaucoup plus sensibles à l'arrachement par le vent

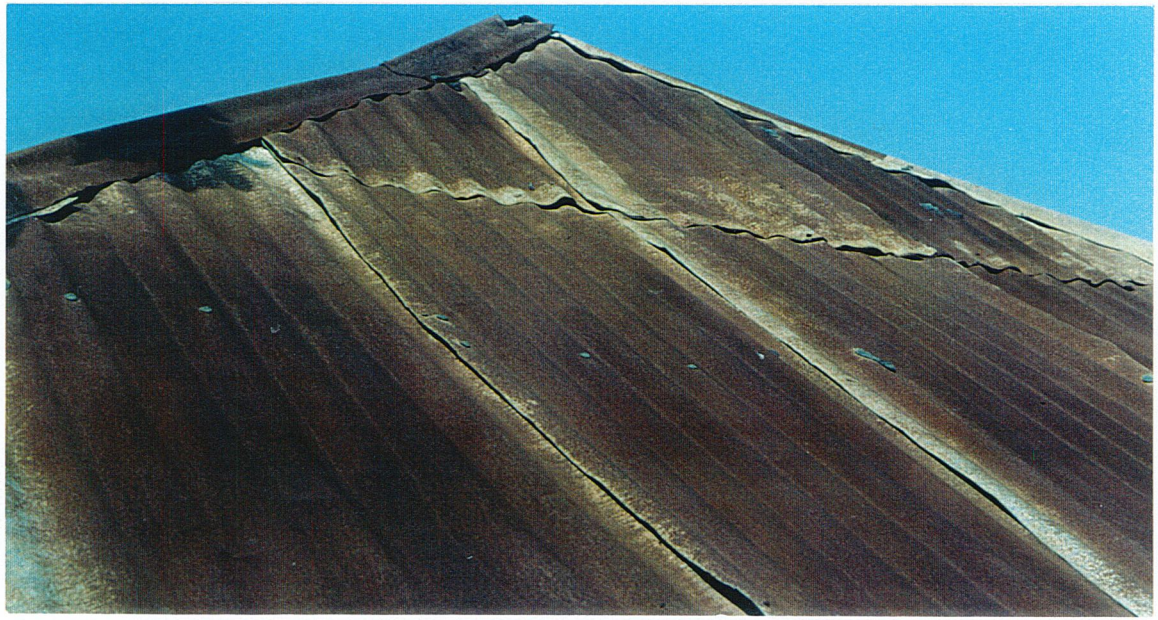
La totalité des toitures de chaume ont été remplacées par des toitures de tôle à pente extrêmement réduite (sauf quelques exemples récents qui ne concernent que le musée). La toiture de faible pente a dans certains cas permis l'adjonction d'une véranda de grandes dimensions. Mais dans la plupart des cas, ce changement a été appliqué avec suppression de la véranda, ce qui diminue considérablement le débord de toiture et engendre une mauvaise protection de la pluie et, plus grave, permet au vent de rabattre les écoulements provenant du toit contre le mur, ce qui entraîne des érosions de surface très fortes.

Lors du passage de la couverture traditionnelle en chaume à la couverture en tôle, de nombreux arrachements de toitures ont eu lieu du fait que ces couvertures sont très sensibles au vent (pente faible, ainsi que rigidité et unicité de structure). La plupart des constructions plus récentes ont corrigé ce défaut en utilisant des pentes de toit beaucoup plus fortes et des débords plus importants.

7.3. Couverture de tôle

Les arêtes des couvertures de tôle sont traitées avec des tôles spéciales mais de largeur relativement réduite, ce qui fait que le recouvrement est assez faible (environ 20 cm). De fait, par grand vent, l'eau arrive à s'infiltrer, mouillant les lattes et les arêtiers. La ventilation difficile de ces bois ne leur permet pas de sécher rapidement. Ils deviennent donc très sensibles au pourrissement, à l'attaque des champignons et des termites. Même le bois de ronier, pourtant réputé imputrescible et non attaqué par les termites, se dégrade lorsqu'il est utilisé au niveau de ces arêtes.

Ces infiltrations augmentent avec le nombre de pans que possède la toiture. L'influence de la pente est difficile à estimer car il est à la fois un facteur d'amélioration (vitesse d'écoulement de l'eau plus rapide) et d'aggravation (diminution de la qualité du recouvrement) .



Par grand vent, l'eau parvient à pénétrer sous les tôles d'arêtes dont le recouvrement est insuffisant

7.4. Couverture de chaume

Les couvertures en chaume (actuellement des sur-couvertures seulement) réalisées sur les bâtiments du musée ont souffert de deux types de défauts:

Pente de toiture trop faible:

Les toitures de chaume peuvent résister sous la plupart des climats du monde entier mais dans tous les cas, la pente est proche des 45°. Cette pente est nécessaire au bon écoulement des eaux et surtout évite la stagnation de l'humidité permettant à la paille de sécher entre deux pluies et ainsi d'éviter le développement de champignons et d'agents pourrissants. Les toits ne respectant pas cette règle de pente minimale voient leur chaume se dégrader très rapidement principalement par pourrissement.

Pente de toiture trop faible entraînant le pourrissement rapide de la paille.

7.4. Couverture de chaume

Mise en oeuvre défectueuse:

Sur plusieurs palais, le chaume a été posé sur une couverture de tôle rendant la qualité de pose, (épaisseur, attache, etc..) moins importante aux yeux de l'artisan. Cette couverture, considérée comme superflue, n'a pas été mise en oeuvre avec les précautions méritées. La paille mal attachée ou peu épaisse a rapidement été emportée par les vents violents qui affectent régulièrement les palais.

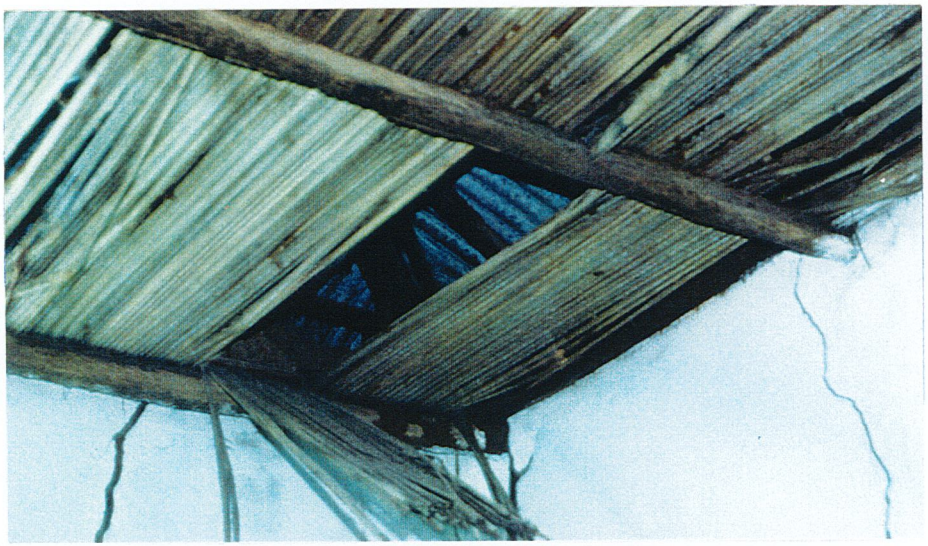
Dégradation de la sur-couverture en chaume.

7.5. Charpente

Les bois utilisés pour les charpentes sont de qualité très variée. Malgré ces différences, la plupart d'entre eux conviennent, mis à part le palmier à huile qui semble particulièrement sensible à l'attaque des termites. Toutefois les bois qui n'ont pas été bien séchés avant utilisation (parfois coupés juste avant) permettent trop facilement le développement des champignons et sont très vite détruits (pourrissement, termites) mettant en danger l'ensemble de la charpente. Les bois non écorcés attirent plus facilement les termites qui ne doivent plus construire de galeries de protection comme elles le font sur les bois nus.

Les charpentes construites avec des bois frais non écorcés se déteriorent très vite.

7.6. Faux plafonds:



Les plafonds en latanier protègent bien de la chaleur transmise par les tôles chauffées par le soleil et évitent à une partie de la poussière de pénétrer dans les pièces. Toutefois, le latanier résiste assez mal à l'humidité et celui-ci se dégrade assez rapidement lorsque des fuites se produisent dans la couverture.

Faux plafond du dépôt de matériel avant démontage en janvier 1996.

7.6. Faux plafonds

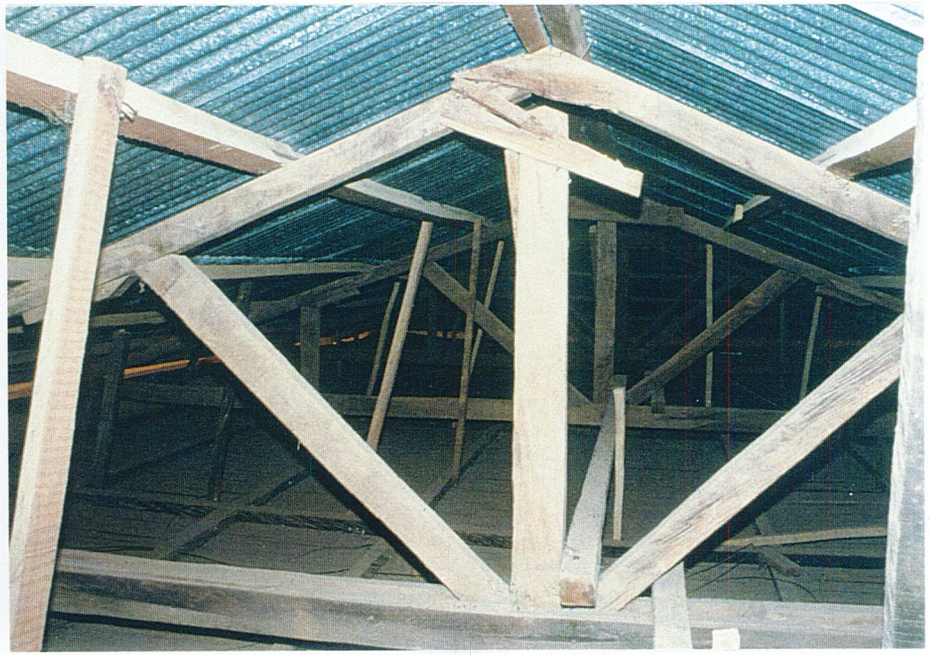
Le latanier est un matériau extrêmement sensible au feu et il pourrait être allumé par de simples flammèches transportées par le vent. De fait, l'espace relativement important laissé entre le mur et la couverture pour obtenir une bonne ventilation est un facteur de risque.

Scénario possible d'attaque d'un bâtiment par le feu.

7.6. Faux plafonds

Le faux plafond de la case à étage a été réalisé en lattes de bois massif. Ce plafond très lourd, fixé principalement sur les entraits des fermes a engendré une traction très forte sur le poinçon et les contrefiches de plusieurs fermes qui sont fortement déformées. En fait, la conception de la charpente n'a pas tenu compte d'une surcharge de cette nature et devrait être revue.

Vue du faux plafond en bois massif de la case à étage.



Poinçon ayant cédé sous la charge du faux plafond en bois massif.

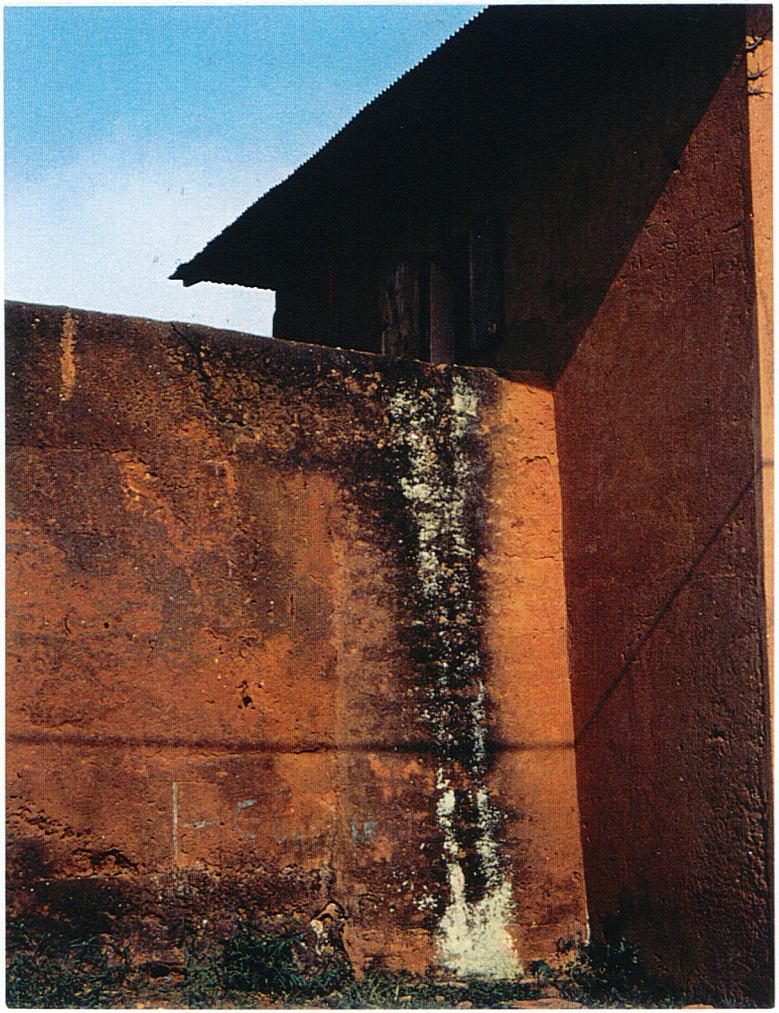
7.7. Murs

Mur d'enceinte partiellement repris en terre stabilisée.

Mur d'enceinte du palais du roi Agoli Agbo. Mur repris en terre stabilisée fortement déterioré à la suite d'une fumigation réalisée lors d'une chasse au rat.

Beaucoup de murs ont été reconstruits en terre stabilisée avec des résultats techniquement très intéressants, mais qui transforment considérablement l'aspect sculptural des murs en terre crue. La mise en oeuvre partielle en terre stabilisée (levée supérieure et levée inférieure) donne des résultats qui restent plus difficile à évaluer car il faudrait réaliser un suivi sur une suffisamment longue période.

Certains murs de clôture ont été restaurés en rapportant une masse de terre stabilisée sur les parties de mur restantes. Ces reprises semblent bien se comporter et le mariage entre les deux couches bien se faire car les surfaces d'accroche sont assez importantes. Toutefois, dans des circonstances particulières, les deux parties du mur semblent se dissocier relativement faiblement. Une chute spectaculaire a eu lieu sur le mur d'enceinte (sud) du palais du roi Agoli Agbo. Celle-ci semble en fait plutôt due au creusement du soubassement et à la fumigation du mur réalisés lors d'une chasse au rat qui a considérablement fragilisé cette partie du mur.



La construction en terre stabilisée donne des résultats très intéressants comme le prouve le mur de clôture séparant le palais de Guézo de la cour Singbodji qui résiste bien au déversement de l'eau de toiture provenant de la case à étage.

7.7. Murs

Fissures de retrait dans des murs de terre stabilisée construits trop rapidement, sans respecter les temps de retrait entre chaque levée.

Les angles des murs sont très sensibles aux fissures qui se produisent aux jonctions entre des matériaux différents. Des micro-fissures dans lesquelles l'eau de pluie peut s'infiltrer ont tendance à se produire lors du séchage, juste après la mise en oeuvre.

Bien que la méthode de stabilisation au ciment, qui présente beaucoup d'avantages, soit devenue une règle quasi générale, elle présente plusieurs inconvénients.
La prise des levées est assez rapide et permet de diminuer considérablement le délai entre la mise en oeuvre de deux levées successives. Ainsi, le retrait de chaque levée, qui est beaucoup plus long à se produire lorsque l'on stabilise au ciment, n'a pas le temps de se faire avant la mise en oeuvre de la suivante. Ceci engendre des fissures impressionnantes qui peuvent se développer sur toute la hauteur du mur, alors que dans les murs traditionnels, les fissures verticales ne se développent pas sur plus d'une levée. L'épaisseur de ces murs est telle que leur stabilité n'est pas menacée.

Le procédé de stabilisation coûte cher car, même si le taux de ciment est faible, les murs sont très épais. La tendance est donc à une réduction de l'épaisseur des murs, allant jusqu'à 30, voire 25 cm.

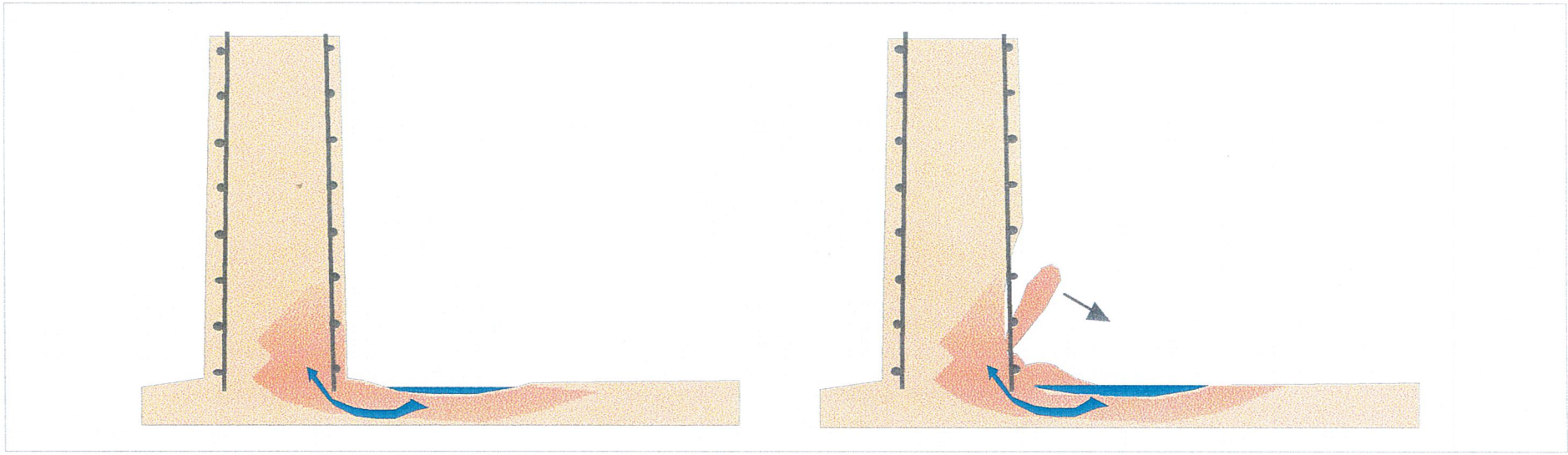
Ces murs deviennent dès lors assez peu stables, d'autant que les fissures décrites précédemment ont tendance à se développer plus particulièrement dans ce type de mur fin qui n'est pas vraiment chaîné.

Nouveau mur de la cour des artisans, construit en terre de barre stabilisée.

7.7. Murs

Murs en terre armés

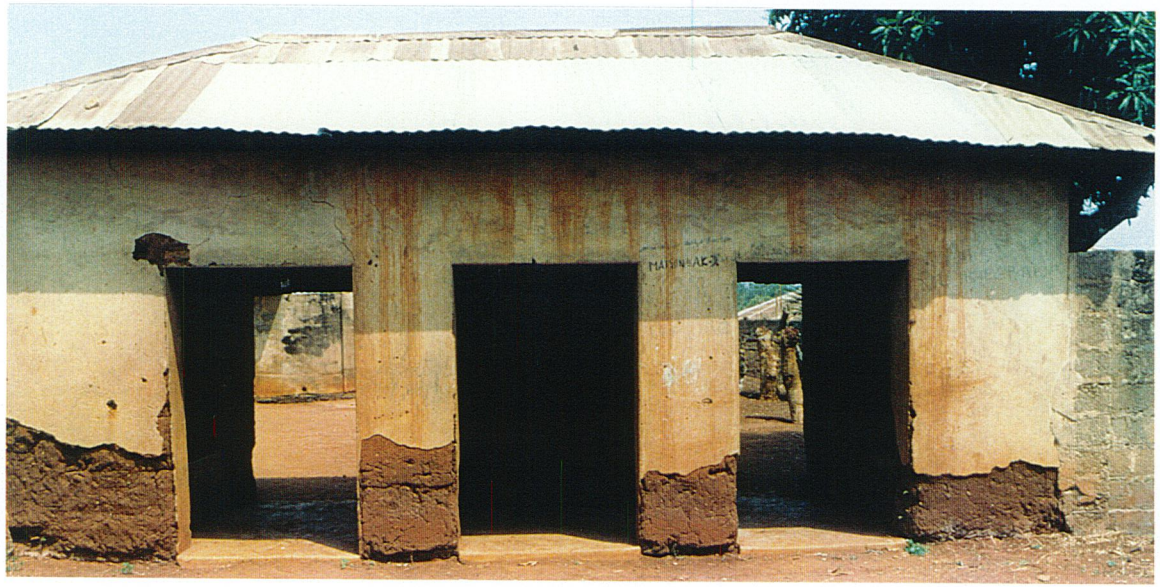
Les ferraillages utilisés pour armer certains murs de terre stabilisés semblent affecter les structures. En présence d'humidité, la structure métallique s'oxyde et finit par ne plus adhérer à la terre.
D'autre part, les dilatations différentielles liées aux variations de température amplifient ce phénomène de séparation entre les deux matériaux et peuvent amener la chute de portions de mur.



7.8. Enduits

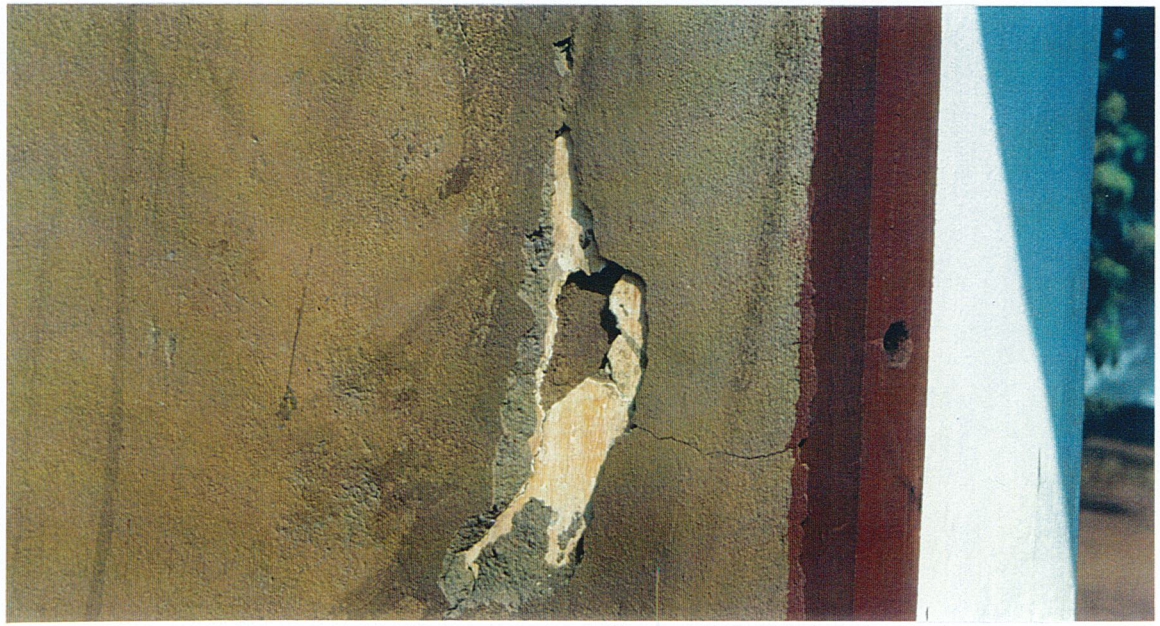
Beaucoup d'enduits des murs ont été réalisés avec des mortiers "conventionnels" de sable et de ciment. Ceux-ci donnent de bons résultats en ce qui concerne la protection verticale contre la pluie, permettant d'éviter les érosions de surface, mais plusieurs nouveaux types de désordres sont apparus.

Dans des circonstances de remontées capillaires, les enduits de sable-ciment sont extrêmement sujets au décollement, à la fissuration, voire à la chute, lors de l'évaporation de l'eau à quelques dizaines de centimètres au-dessus du niveau du sol (pression de vapeur). Ce phénomène est encore renforcé par les peintures étanches qui ont pu être appliquées sur certains murs et plus particulièrement sur les soubassements (peinture noire).
Les remontées capillaires sont d'autant plus importantes avec les enduits ciment que l'eau n'est plus absorbée par le mur et vient donc s'accumuler à sa base.



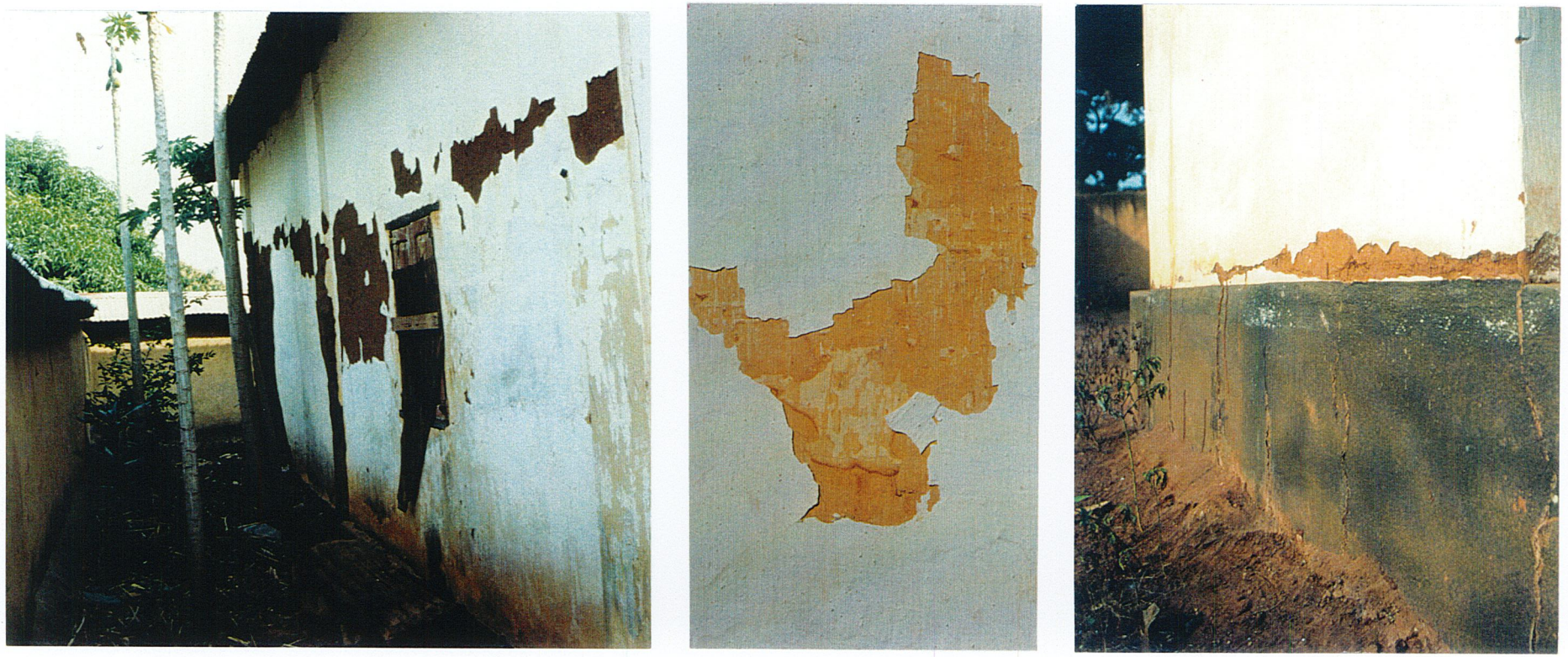
Chute d'enduit sable-ciment sur une porte due à des remontées capillaires, suite à une stagnation d'eau.

7.8. Enduits



Dégradation d'un enduit rajouté sur d'anciennes couches.

Lorsque l'enduit sable-ciment recouvre entièrement le mur de clôture sans autre protection dans sa partie supérieure, il n'est pas rare que des fissures se forment dans la partie supérieure car l'eau finit toujours par s'infiltrer et donc par agir directement ou indirectement.
Lorsque les enduits sont fissurés, leur rôle de protection contre la pluie est largement diminué car l'eau qui coule le long du mur peut s'infiltrer. Cette infiltration qui est très ponctuelle peut entraîner des gonflements du mur de terre et sa dégradation, ainsi que la chute de l'enduit.
De nombreuses réfections ont été faites sans ôter l'ancien enduit. Cette multiplication des couches augmente l'étanchéité et le poids, facilitant le décollement. Cette pratique permet une réalisation rapide mais réduit la durabilité.
Certains enduits qui ont été réalisés sur une épaisseur très fine sont assez poreux et moins sujets aux décollements dus à la capillarité. C'est dans ce cas que l'on observe des décollements de peinture sans que l'enduit n'apparaisse affecté.



Décollement de peintures.

Les sols traditionnels étaient réalisés en terre damée. Ils nécessitaient un entretien périodique fait d'une couche de badigeon de kaolin mêlé de sel. Ce revêtement traditionnel a été remplacé par 2 types de revêtements: le sol de sable et le sol fait d'une chape en sable-ciment sur remblai.

Le sol de sable:

Le sol de sable est très économique et ne nécessite quasiment aucun entretien, toutefois, il a le défaut de représenter une barrière à l'évaporation de l'humidité et permet l'installation de galeries de termites non visibles.

Sol protégé d'une chape en sable-ciment. L'humidité maintenue par la chape favorise le développement des mousses.

La chape de sable-ciment:

La chape de sable-ciment sur remblai bien que très résistante a une durée qui reste limitée (décollements en surface) et l'entretien par rebouchage est souvent très peu durable. Par ailleurs, le remblai est très souvent mal exécuté (fait de déchets de chantier, pas de compactage) ce qui fait que ces sols accumulent l'humidité.

Le dallage ciment réalisé au niveau des vérandas entraîne très souvent des stagnations d'eau apportée par la pluie et le vent, du côté des façades les plus exposées. Ces stagnations, ainsi que les infiltrations et remontées capillaires qui en résultent entraînent des dégradations, principalement sur les colonnes qui composent la périphérie de la véranda mais aussi sur les murs intérieurs. Les enduits et les peintures sont les plus touchés, mais à la longue, la base des murs se dégrade.

7.10. Trottoirs

Les trottoirs réalisés de la même façon que les sols (chape sur remblai) posent des problèmes importants dès lors que le drainage périphérique au bâtiment forme des écoulements ou des stagnations d'eau à proximité.
En effet, ceux ci sont réalisés sur des murets externes mal fondés et non-étanches qui permettent d'importantes infiltrations d'eau.

Cette eau traverse le remblai et finit par provoquer des remontées capillaires importantes dans les murs et des dégradations de surface (peintures ou enduits).

Trottoirs en terre avec enduit sable-ciment.

7.11. Bancs

Les bancs, réalisés de la même façon que les sols et les trottoirs posent des problèmes similaires. Souvent mal drainés, avec des chapes dirigeant l'eau vers le mur, ils déplacent vers le haut les problèmes d'érosion dûs aux remontées capillaires. Ce phénomène s'aggrave lorsque le mur est enduit ou recouvert de peintures étanches.

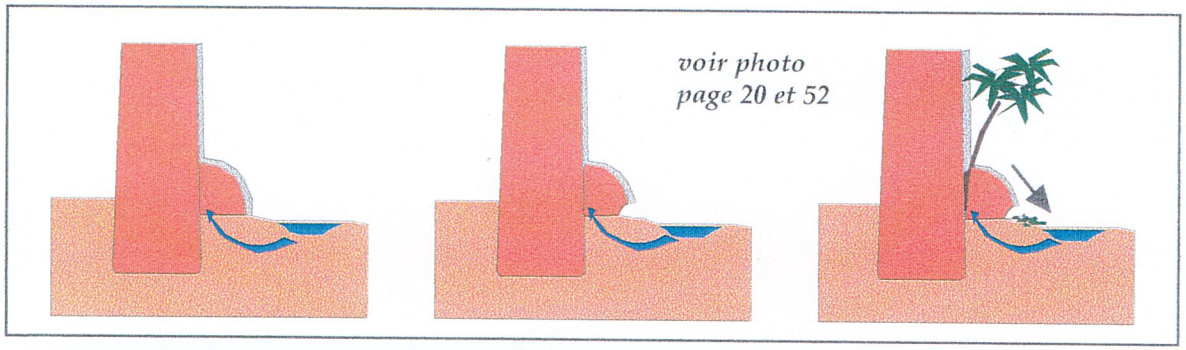
Banc mal drainé (pente vers le mur) recouvert d'une chape en sable-ciment.

7.12. Buttes de terre, talus

Cette solution technique traditionnelle très efficace permet de concentrer tous les risques de dégradation sur cet élément de protection. L'efficacité d'un tel talus vient du fait que celui-ci est bien compacté lors de sa mise en oeuvre. A l'inverse, un talus en terre non compacte agira comme une pompe à eau et risque de renforcer très fortement le phénomène de remontées capillaires et donc de dégradations. Un talus non compacté se comporte comme le talus détritique décrit au § 1.2, page 12.

Talus de protection en terre non damée retenant l'humidité.

7.12. Talus



voir photo page 20 et 52

Lorsqu'un talus est simplement ajouté à un mur existant sans qu'un traitement particulier soit apporté à la jonction des deux éléments, une fissure apparaît. L'eau, les poussières et les plantes viennent s'y installer et repoussent le talus qui devient inefficace.

La mise en oeuvre d'un enduit de sable-ciment au niveau de ce talus n'apporte qu'une faible amélioration du comportement. Cet enduit accélère le déchaussement du talus, qui finit par céder. Cette disposition est plus onéreuse et plus difficile à entretenir que la solution purement traditionnelle.

La mauvaise liaison des talus avec les murs entraîne des fissures où viennent se déposer les poussières et où poussent les plantes.

Bibliographie

Bénin. État de conservation du site classé sur la liste du patrimoine mondial en péril. Les palais royaux d'Abomey. Espace, architecture, dynamique socio-anthropologique
Antongini G., Spini T.G.
Ed. UNESCO, Fonds du patrimoine Mondial, Paris, 86 p.

Bénin. Palais royaux d'Abomey. Dossier de classement. Révision et mise à jour
Antongini G., Spini T.G.
Ed. UNESCO, Fonds du patrimoine Mondial, Paris, 35 p.

Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey.(PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
Rapport d'activité. Situation au 15 novembre 1995
CRATerre-EAG : Houben H., Joffroy Th.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome, 15 p.

Plan d'urgence. Réparations à réaliser avant la saison des pluies 1995. Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey.(PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
CRATerre-EAG : Joffroy Th., Bendakir M.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome, 12 p.

Rapport de mission au Bénin. Janvier-Février 1995. Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey.(PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
CRATerre-EAG : Joffroy Th., Bendakir M.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome, 11 p.

Rapport de mission au Bénin. 19-29 septembre 1995. Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey.(PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
CRATerre-EAG : Joffroy Th., Bendakir M.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome, 5 p.

Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey.(PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
Support graphique du guide d'entretien des palais de Guezo et Glele.
CRATerre-EAG : Joffroy Th., Bendakir M.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome, 4 plans

UNESCO, Centre du patrimoine Mondial, mission au Bénin, 21-28 avril 1995
Saouma-Forero G.
Ed. UNESCO, Paris, 8 p.

Rapport d'activité du 24 février au 31 octobre 1994. Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey. (PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
CRATerre-EAG : Houben H.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome, 3 p.

Conservation et mise en valeur des palais royaux d'Abomey.(PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
Rapport de mission au Bénin du 18 au 23 juillet 1994
CRATerre-EAG : Houben H.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome, 7 p.

Atelier-Formation d'artisans, Musée historique d'Abomey. Rapport de mission au Bénin du 3 au 29 janvier 1996 (PREMA-Abomey-UNESCO BER/CSF/DON/93).
CRATerre-EAG : Joffroy Th., Moriset S.
Ed. CRATerre-EAG, ICCROM, Villefontaine, Rome.

PREMA cours national. Bénin 92 "Conservation préventive" dans les musées nationaux du Bénin. 24 août - 20 novembre 1992
PREMA
Ed. UNESCO, Ministère de la Culture & des Communications, Direction du Patrimoine Culturel, Paris/Porto-Novo, 12 p.

Les palais royaux d'Abomey. Action opérationnelle pour la sauvegarde et la réintégration dans la vie contemporaine du patrimoine culturel immobilier
Haas R.L.
Ed. UNESCO, Paris, 69 p.

Liste du patrimoine mondial n°323. Bien proposé : palais royaux d'Abomey
ICOMOS
Ed. ICOMOS, Paris, 3 p.

Liste du patrimoine mondial n°323. Bien proposé : palais royaux d'Abomey
ICOMOS
Ed. ICOMOS, Paris, 3 p.

World heritage list n°323. Nomination : the royal palaces of Abomey
ICOMOS
Ed. ICOMOS, Paris, 3 p.

Liste du patrimoine mondial n°323. Bien proposé : palais royaux d'Abomey
ICOMOS
Ed. ICOMOS, Paris, 3 p.

World heritage list n°323. Nomination : the royal palaces of Abomey
ICOMOS
Ed. ICOMOS, Paris, 3 p.

Proposition d'inscription sur la liste du patrimoine mondial soumise par la République Populaire du Bénin. Palais royaux d'Abomey
Capo-Chichi T.G.
Ed. Ministère de l'Alphabétisation et de la Culture Populaire, Cotonou, 12 p.

Proposition d'inscription sur la liste du patrimoine mondial soumise par la République Populaire du Bénin. Palais royaux d'Abomey. Capo-Chichi T.G.
Ed. Ministère de l'Alphabétisation et de la Culture Populaire, Cotonou, 12 p.

Les palais royaux d'Abomey. République Populaire du Bénin. Aide aux états membres pour la préservation du patrimoine culturel et naturel et le développement des musées.
Stevens A.
Ed. UNESCO, Paris, 84 p.

La conservation et la restauration des collections du musée historique d'Abomey. République Populaire du Bénin. Aide aux états membres pour la préservation du patrimoine culturel et naturel et le développement des musées
Coursier B.
Ed. UNESCO, Paris, 11 p.

Dahomey. Étude de la restauration et de la mise en valeur des palais royaux d'Abomey
Crozet J.
Ed. UNESCO, Paris, 20 p.

Monuments historiques du Dahomey et du Cameroun : projets de restauration
Gabus J.
Ed. UNESCO, Paris, 5 p.

Mission de Jean Gabus au Dahomey du 9 au 16 août 1964
Gabus J.
Ed. UNESCO, Paris, 7 p.

Construire en Terre
CRATerre-EAG : Doat P., Hays A., Houben H., Matuk S., Vitoux F.
Ed. Alternatives, Paris, 287 p.

Traité de construction en terre
CRATerre : Houben H., Guillaud H.
Ed. Parenthèses, Marseille, 355 p.

5 e réunion internationale d'experts sur la conservation de l'architecture de terre. Actes de colloques
CRATerre-EAG : Houben H., ICCROM : Alva A.
Ed. CRATerre, Villefontaine, Rome, 110 p.

Bibliographie sur la préservation, la restauration et la réhabiliation des architectures de terre
CRATerre-EAG : Pascal Odul
Ed. CRATerre, Villefontaine, 136 p.

Comunicacoes Terra 93, 7a conferencia internacional sobre estudo e conservaçao da arquitectura de terra
Ed. CTT-Correios de Portugal, AIP-Associaçao Industrial Portuguesa, 659 p.

La participation à la vie active des associations à la réhabilitation de l'ancien habitat.
Brenet JP.
Ed. Tradition et renouveau, association régionale Biomasse, Caen

L'humidité des bâtiments anciens. Causes et effets. Diagnostics et remèdes.
Collombet R.
Ed. du Moniteur, Paris

Deuxième colloque international sur la conservation des monuments en brique crue. Actes de colloques.
ICOMOS
Ed. ICOMOS, Paris

Érosions des murs en terre
CRATerre : Doat P., Guillaud H., Houben H., Joffroy Th., Maini S., Odul P. Rollet, P., Vitoux F.
Ed. EAG, Grenoble, 104 p.

Aspects et causes de la dégradation des remparts de la médina de Fès.
Fennane M.
Ed. LPEE, Casablanca, 5 p.

Calcul des sollicitations des murs anciens en cas de dégradation local du sol.
Wisniewski Z.
Ed. LPEE, Casablanca

Constructions en terre. Tradition et renouveau. Colloque de Caen. 20 et 21 mai 1987.
Association Régionale Biomasse Normandie. Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie, Caen, 50 p.

Création d'un centre permanent d'initiation à l'architecture de pays et de formation aux métiers de l'artisanat et du bâtiment. Formation professionnelle. Chantier 1986-1987
Ed. Maisons paysannes de Moselle, Conseil Régional de Lorraine, Parc Naturel de Lorraine, Metz

Démarche pour un diagnostic de l'environnement en préalable au diagnostic à effectuer pour la réhabilitations d'un immeuble ancien.
Delcambre P.
Ed. Formequip, Vaulx en Velin