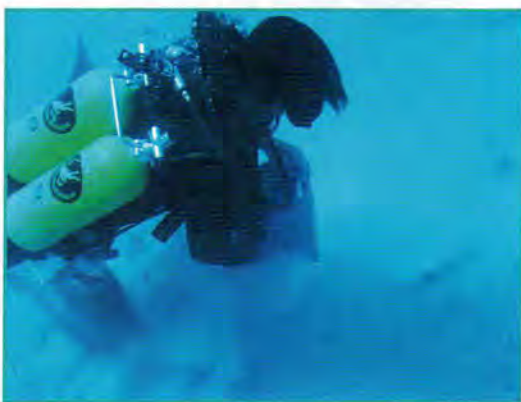


- En cas d'érosion localisée liée à un épisode météorologique, il est conseillé de recharger rapidement pour éviter un plus grand déséquilibre du profil de la plage,
- Suivi de la qualité des eaux de baignade (zone semi-confinée),
- Nettoyage de la plage : la collecte systématique des blocs et blocailles dans le cas d'un nettoyage régulier, fragilise la plage. D'autre part, les systèmes de nettoyage cassent "la croûte" superficielle formée par l'eau et le sel, et qui protège pour partie la plage des effets de l'érosion éolienne.

Remarque particulière

Éviter la création en milieu récifal de plages alvéolaires favorisant le confinement, et les risques d'eutrophisation (température élevée de l'eau dans les alvéoles).

g) La recherche d'un gisement de sable blanc corallien pour la création ou la restauration de plages ou d'aires de baignade



L'aménagement de plages ou d'aires de baignades nécessite très souvent un approvisionnement en sable blanc corallien de plusieurs milliers de mètres cubes par projet hôtelier. Les exploitations existantes en plaines littorales sont peu nombreuses et parfois très éloignées du site à aménager ; par ailleurs, il n'existe pas de stock disponible, la solution consiste actuellement à rechercher un gisement en milieu récifal et si possible à proximité du projet.

La recherche d'un gisement se fait donc le plus souvent parallèlement à l'étude de l'aménagement hôtelier.

L'approche la plus rationnelle consisterait à réaliser à l'avenir en complément des schémas d'exploitation des granulats, qui ont été effectués pour les autres matériaux (soupe de corail, alluvions, matériaux durs) au niveau de Tahiti et des Iles-Sous-Le-Vent, des schémas du même type pour le sable blanc corallien. Ces schémas permettraient alors de définir un ou deux grands sites d'exploitation par île, afin de répondre aux besoins des aménageurs. Cette démarche éviterait ainsi les effets de mitage des exploitations mises en place au coup par coup.

La recherche d'un gisement de sable blanc corallien nécessite une bonne connaissance de la géomorphologie récifale, une fois le ou les gisements localisés une reconnaissance géotechnique par lançage sera menée afin de définir la puissance du gisement et son extension. L'analyse prendra en compte les différents éléments suivants :

- Volume exploitable et qualité des matériaux,
- Contraintes technico-économiques d'exploitation (distance du site par rapport au littoral, géométrie des fonds, hauteur d'eau, courants),
- Contraintes environnementales : richesse spécifique, vitalité corallienne, beauté des paysages, géomorphologie, conditions hydrodynamiques, vocation du site.

Plusieurs gisements potentiels seront à étudier, une analyse comparative des différents sites permettra le choix du gisement offrant les meilleures conditions techniques et environnementales pour une exploitation.

Recommandations pour l'exploitation du gisement

Elles portent sur :

→ Le choix de la technique d'extraction

Généralement, l'exploitation se fait par suçage à l'aide d'une drague suceuse ou d'une pompe (contrainte minimale au niveau de la turbidité).

—> **Le choix de la technique de transport (barge ou refoulement par conduite)**

Le procédé retenu sera choisi en fonction :

- de la distance entre le site d'extraction et la zone à réensabler,
- des contraintes hydrodynamiques (un fort courant ou la houle, posant des difficultés pour maintenir la conduite en surface),
- de l'accessibilité du site à recharger pour une barge (platier corallien à faible hauteur d'eau par exemple).

—> **Le plan d'exploitation**

L'exploitation à l'aide d'une pompe ou d'une dragueline lorsqu'elle est menée de façon anarchique se traduit en fin de chantier par la formation d'un paysage lunaire (alternance de cratères et de crêtes sableuses). Cette dégradation des fonds (aspect inesthétique et zone propice au confinement, aux piégeages des macrodéchets et des sédiments très fins) nécessite une restauration physique qui sera alors difficile à mener.

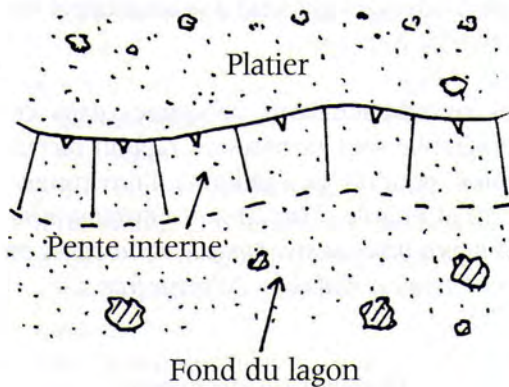
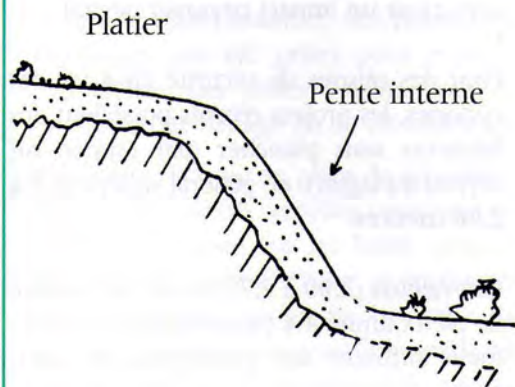
Il apparaît donc souhaitable de concevoir en début de chantier un plan de travail de la machine permettant un premier reprofilage des fonds à l'avancement de l'exploitation.

Il est d'autre part nécessaire d'éviter l'exploitation du gisement de sable jusqu'au substrat corallien pour les raisons suivantes (risque d'érosion et de déstabilisation des pentes, de développement de foyers ciguatériques et de dégradation du paysage sous-marin). L'étude préliminaire ayant donné la puissance du gisement (volume potentiel) on définit un volume maximal à exploiter, en prenant en compte dans le calcul la préservation d'une couche de sable suffisamment importante, au dessus du substrat induré (garder une couche de sable d'une épaisseur minimale comprise entre 0,5 et 1,0 m).

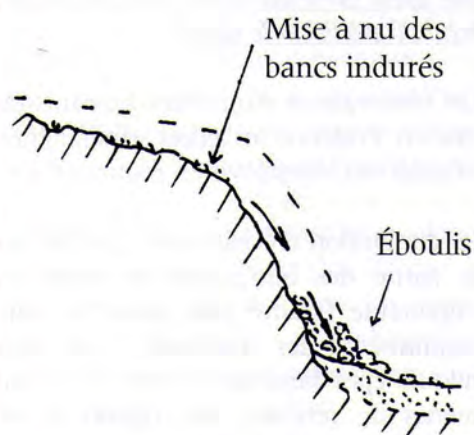
—> **La restauration des fonds en fin d'exploitations**

Il est nécessaire en fin de chantier de redonner au fond, une forme simulant la morphologie naturelle, et originale du site, pour des raisons esthétiques et de fonctionnement sédimentologique (recherche de pente douce régulière, élimination des formes géométriques anguleuses favorisant le piégeage des éléments fins et des macrodéchets). Ce travail peut être envisagé manuellement (plongeurs équipés de râteaux adaptés au travail à réaliser), ou à l'aide d'engins mécaniques en fonction de l'importance de la surface à traiter.

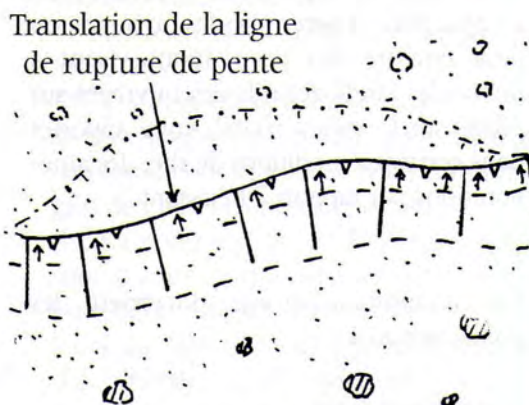
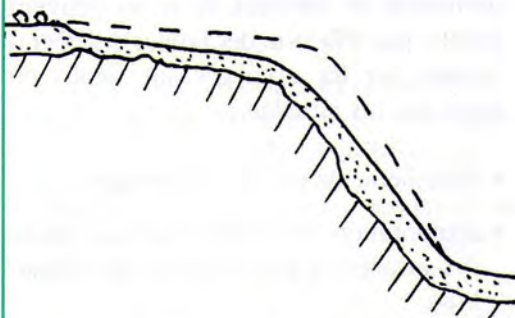
Les schémas ci-joints donnent quelques recommandations simples pour le reprofilage des fonds dans le cas de l'exploitation d'une pente sableuse (reprofilage de la pente parallèlement au profil d'origine). En cas d'accumulation de sédiments très fins, on doit procéder à un curage de finition en fin de reprofilage. Enfin, des précautions sont à prendre durant les opérations de déchargement ou de refoulement du matériau sur la zone à réensabler (protection du récif par pose d'écrans en géotextile autour du chantier).



1) Profil naturel



2) Profil à éviter en fin d'exploitation



3) Profil à atteindre en fin d'exploitation après restauration

**Recommandations relatives au plan d'exploitation
d'un gisement de sable sur la pente interne d'un récif barrière.**

h) Bungalows et pontons sur pilotis

Une attention particulière est portée sur ce type d'ouvrages qui tend à se développer en Polynésie française.

Les recommandations présentées dans ce paragraphe sont extraites du rapport récent réalisé pour la Délégation à l'Environnement et intitulé : *"Impact sur l'Environnement des projets hôteliers avec bungalows sur pilotis en zone littorale et récifale en Polynésie française"*.

Conception du projet



• Le choix des structures

En complément des contraintes purement techniques et impératives à prendre en compte pour la pérennité des ouvrages, on peut émettre des propositions visant à limiter les effets négatifs des ouvrages sur pilotis sur le milieu récifal, voire apporter dans certaines conditions de site, des améliorations par rapport à l'existant.

Ces recommandations concernent les points suivants :

Le nombre de pilotis

L'étude citée précédemment a mis en évidence qu'une forte densité de pilotis présente des impacts négatifs : esthétique, destruction d'une surface importante de platier, diminution de l'éclairage sous les planchers.

Les projets récents sont, de ce point de vue, satisfaisants et le nombre de pilotis est réduit à **quatre** par bungalows.

La hauteur entre niveau du lagon et plancher

Des hauteurs limitées ($h < 1,5$ m) diminuent fortement l'éclairage sous les bungalows, de trop grandes hauteurs peuvent avoir un impact paysager négatif.

Pour des raisons de sécurité vis-à-vis des cyclones, les projets récents possèdent des hauteurs sous plancher (par rapport au niveau du lagon), en général supérieures à **2,00 mètres**.

Ces valeurs (2,00 à 2,70 m) et un nombre de pieux limité à 4 permettent un éclairage suffisant des fonds sous les planchers.

Le choix du type d'implantation (profil mixte avec appui sur le littoral ou bungalows entièrement sur pilotis sur le lagon)

Les observations d'ouvrages existants ont mis en évidence les effets généralement négatifs des bungalows en profil mixte.

La diminution d'éclairage générée par la partie des bungalows en appui est importante. D'autre part pour les zones soumises à des conditions hydrodynamiques épisodiquement fortes, les phénomènes de réflexion des clapots et des houles sous les bungalows, peuvent induire des dégradations à la fois pour les ouvrages, mais aussi pour les fonds récifaux et les recolonisations présentes sur les ouvrages. De même des murs verticaux de protection de remblais de motu peuvent induire par réflexion des houles des dégradations sur les ouvrages sur pilotis en appui sur ces remblais :

- affouillements en pied d'ouvrages,
- détérioration en cas de très forte houle des escaliers d'accès à l'eau des bungalows.
- abrasion des pilotis par projection de sable et blocailles, limitant les recolonisations.

En conclusion, il semble préférable, vis-à-vis des contraintes environnementales et techniques (maintenance des ouvrages) de proposer des bungalows sur pilotis, entièrement sur l'eau. Les points d'appuis à terre devront tenir compte des remarques précédentes.

La technique d'ancrage sur pilotis

La partie "non visible" des ancrages (fer à béton, profilés) ne pose pas de problèmes environnementaux dans la mesure où durant la phase chantier, des précautions minimales ont été prises pour éviter la dégradation des zones voisines lors des opérations de battage ou de vibrofonçage.

Par contre, la mise en place de semelles et la géométrie de ces semelles peuvent avoir un impact négatif sur les fonds récifaux. Du point de vue esthétique et en matière de sécurité vis-à-vis de la baignade, les semelles cubiques ou parallélépipédiques sont contestables. Il est important de rappeler que la clientèle des bungalows sur pilotis occupe une partie non négligeable de ses loisirs à nager ou à faire du snorkeling autour des bungalows. Ces formes anguleuses et verticales constituent d'autre part un handicap pour un écoulement hydrodynamique optimal autour des pilotis. Elles peuvent favoriser l'érosion autour des semelles et générer des sous-cavages. Il semblerait d'autre part, que les recolonisations coralliennes soient plus difficiles sur ces structures, probablement en partie à cause des phénomènes hydrodynamiques et de l'abrasion des jeunes repousses sur les supports verticaux en béton.

Lorsque des semelles sont envisagées, il apparaît donc souhaitable de leur donner une forme évitant les angles droits (cônes sphériques, tronc de cône, tronc de pyramide, etc.), et qu'elles soient encastrées de plusieurs dizaines de centimètres dans le platier.

Dans la mesure où la nature des fonds le permet, il est recommandé d'ensouiller totalement les semelles dans le terrain.

Certaines techniques de consolidation des sols pourraient aussi être développées telles que les micropieux ou le "jet grouting" (consolidation sol par injection sous pression d'un coulis. Le jet conduit à la constitution d'un mélange des éléments du sol en place avec le coulis injecté). Ces techniques nécessitent cependant une très bonne technicité.

Le choix des sites

Les conditions de site (géomorphologiques sédimentologiques, hydrodynamiques, biologiques) sont importantes à prendre

en compte non seulement pour la protection du milieu mais aussi pour :

- la pérennité des ouvrages (cas des zones fortement exposées aux courants ou à la houle),
- le confort des usagers de l'hôtel (zones de baignade adaptées à proximité des bungalows).

Sur ce dernier point, il est nécessaire d'obtenir autour des bungalows, des fonds sur lesquels le baigneur puisse marcher ou nager sans se blesser, et où l'on trouve une hauteur d'eau suffisante ($z > 0,50$ m).

Ces contraintes liées au bon fonctionnement de l'hôtel sont en général compatibles avec les contraintes environnementales. Dans la mesure du possible, il serait souhaitable d'éviter :

- les platiers recouverts d'une très faible hauteur d'eau ($z < 0,50$ m),
- les platiers présentant des formations coralliennes vivantes et denses,
- les pentes externes du récif frangeant construites et vivantes.

Dans la zone à pâtés coralliens dispersés, il est possible d'implanter des bungalows sur pilotis. Le plan masse devra tenir compte de la localisation des pâtés coralliens.

Les sites d'implantation les plus favorables concernent les platiers sableux étendus, soumis à une circulation hydrodynamique modérée, c'est-à-dire permettant un bon renouvellement des eaux, mais évitant toutefois une abrasion des supports en béton susceptibles d'être recolonisés par les coraux.

Une hauteur d'eau comprise entre 0,60 et 2,00 m semble favorable à la fois pour les recolonisations et pour le confort des usagers de l'hôtel (zone de baignade).

Il est à noter que les fonds sableux blancs sont d'autre part intéressants au niveau esthétique (aspect d'ensemble des couleurs du lagon) et au niveau biologique (l'éclairement étant maximum sous les planchers implantés dans de tels fonds : effet de réflexion).

Enfin, il apparaît d'autre part fortement souhaitable d'utiliser des sites récifaux présentant déjà une forte dégradation (ancienne zone d'extraction de matériaux coralliens par exemple), pour implanter un projet d'aménagement en milieu récifal. On profitera alors des travaux pour réaliser une restauration physique, voire biologique du site.

Phase chantier

Il sera nécessaire de prendre les précautions maximales pour préserver les fonds coralliens dans la zone d'implantation du projet. Il est bon de rappeler qu'un environnement récifal agréable constitue un atout majeur pour un aménagement à caractère touristique.

En première phase et si nécessaire, on déplacera les pâtés coralliens vivants susceptibles d'être détruits par les travaux. Ils seront transplantés (sans être sortis de l'eau) dans une zone voisine non influencée par le chantier.

Les précautions concerneront la mise en place des plates-formes de battage et de vibrofonçage, des opérations éventuelles de déroctage dans le cas d'ensouillage des embases des pilotis et la pose des semelles.

On ceinturera ensuite les zones en travaux par un écran de protection type "silt screen" afin d'éviter toute dégradation des zones voisines sensibles par d'éventuels dépôts de panaches turbides générés par les engins de chantier.

Cette mesure ne sera pas nécessaire lorsque les risques de pollution du milieu par l'apport de panaches turbides seront très faibles et que la circulation hydrodynamique du site sera suffisante (bon renouvellement des eaux).

Durant la phase chantier, des précautions seront prises afin d'éviter le piétinement du platier sous et autour des bungalows en construction. On évitera d'autre part, toute chute d'outils ou d'éléments de construction susceptibles de briser les coraux sur les fonds, en mettant en place si nécessaire des filets de protection au niveau du plancher (cas de zones très sensibles possédant des coraux vivants autour des bungalows).

En fonction des conditions de site, la restauration physique voire biologique des fonds sera à prévoir. La restauration physique consistera, si l'on a constaté une hypersédimentation fine sur les fonds, à curer ces matériaux à l'aide d'une suceuse, puis à éliminer les blocs et blocailles créés par les travaux, et à recouvrir les fonds

d'une couche de sable blanc corallien sur une épaisseur de 10 à 20 centimètres.

Dans certains cas, la création de petits jardins coralliens pourra être proposée, elle nécessitera une étude préliminaire par des spécialistes.

Maintenance et suivi du milieu

On vérifiera périodiquement et notamment après les épisodes cycloniques l'état des ouvrages (pilotis, semelles) et les phénomènes éventuels d'affouillements (sous cavage sous les semelles) ainsi que l'évolution des recolonisations naturelles sur les fonds et les ouvrages, ou artificielles dans le cas de la création d'un petit jardin corallien sous ou à proximité des bungalows.

Les différentes recommandations précédentes sont présentées ci-dessous de façon synthétique sous forme de tableaux récapitulatifs définissant une hiérarchisation des contraintes de sites et des contraintes techniques à prendre en compte pour la réalisation de bungalows sur pilotis.

Choix du site en fonction des caractéristiques

géomorphologiques du milieu récifal.

TYPE DE SITE	CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES	CONFORT BAIGNADE	TRAVAUX DE RESTAURATION À PRÉVOIR	POTENTIALITÉ DU SITE POUR LA CONSTRUCTION DE BUNGALOWS SUR PILOTIS
Platier à accumulation de sable blanc corallien	Très faibles.	Excellent.	Non.	Très bonne.
Platier à accumulation de sable et blocailles coralliennes.	Faibles à moyennes (présence d'organismes sur les blocailles, algues, coraux, etc.)	Moyen.	Travaux éventuels (nettoyage des fonds, réensablement).	Moyenne.
Platier à accumulation de sable et pâtés coralliens épars.	Moyennes (présence de pâtés coralliens vivants).	Bon à moyen.	Déplacement éventuel de pâtés coralliens avant travaux.	Bonne à moyenne.
Platier à accumulation sableuse et pâtés coralliens denses.	Fortes à très fortes (nombreux coraux vivants).	Faible à nul (difficulté d'accès, parfois dangereux).	Travaux importants pour la protection du site et des sites voisins sensibles et la restauration physique et biologique du site.	A PROSCRIRE
Platier compact et pente construite.	Moyennes à très fortes.	Faible à nul. Vitalité variable sur platier compact, très forte en général sur la pente.	Travaux importants pour la protection du site et des sites voisins sensibles, et la restauration physique et biologique du site.	A ÉVITER
Platier récifal fortement dégradé.	Faibles	Faible à moyen.	Travaux importants de restauration physique et biologique du site.	Bonne à très bonne : permet la restauration d'une zone dégradée.

Choix du site en fonction de la hauteur d'eau sur le platier

et des conditions hydrodynamiques

HAUTEUR D'EAU SUR LE PLATIER EN M	CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES	CONFORT BAIGNADE	POTENTIALITÉ
$Z \leq 0,3$ m	Fortes (variations de températures importantes). Contraintes hydrodynamiques fortes (abrasion, etc.). Restauration difficile.	Nul.	Zone à éviter
$0,3 < Z \leq 0,6$ m	Moyennes.	Moyen.	Moyenne.
$0,6 < Z \leq 2$ m	Faibles.	Très bon.	Zones très favorable.
$Z > 2$ m	Faibles.	Moyen (zone profonde)	Moyenne + contraintes techniques

CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES	CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES	CONFORT BAIGNADE	POTENTIALITÉ
Zones stagnantes	Fortes (température, risques d'eutrophisation, eau turbide, etc.).	Faible à nul.	Zone à éviter.
Conditions hydrodynamiques fortes : courants fréquents $> 0,5$ m/S, et/ou houles fréquentes d'amplitude $h > 0,5$ m.	Moyennes.	Faible (zone parfois dangereuse)	Zone à éviter.
Courants moyens à faibles - houles faibles mais bon renouvellement des eaux	Faibles.	Très bon.	Zone très favorable.

- **Types de bungalows sur pilotis** : incidences sur l'éclaircement des fonds et sur les phénomènes hydrodynamiques au niveau des fonds et des ouvrages.

- Entièrement sur l'eau : **Très favorable.**
- En profil mixte avec appui sur le littoral ou sur un remblai : Moyennement à peu favorable (fonction des conditions géomorphologiques et hydrodynamiques du site, de la géométrie des appuis et de la hauteur entre plancher et niveau de lagon (cf. texte).

- **Nombre de pilotis** : incidences sur l'esthétique et l'éclaircement des fonds.

- De façon générale

$n \geq 8$	à éviter
pour $6 \leq n < 8$	pas de problèmes majeurs
pour $n = 4$	bon

- **Hauteur sous plancher** (entre plancher et niveau d'eau) : incidence sur l'éclaircement des fonds et contraintes techniques (risques cycloniques).

- | | |
|--------------------|------------|
| $h \leq 1,5$ m | à éviter |
| $1,5 < h \leq 2$ | moyen |
| $2 < h \leq 2,7$ m | bon |

- **Ancrages** (contraintes environnementales, esthétiques, et de confort pour la baignade).

- Semelles non visibles (ensouillées) ou moyens techniques évitant les semelles **Très bon**

- Semelles apparentes :

- semelles à géométrie en courbe (absence d'angles droits), **Bon**
- semelles à formes anguleuses (formes cubiques et parallélépipédiques) **A éviter**

i) Îlots (ou motus) artificiels

Conception du projet

Les motus artificiels correspondent à des remblais posés au large du littoral sur le platier récifal et reliés en général au littoral par des pontons ou passerelles sur pilotis.

Compte tenu de l'importance de la destruction mécanique des fonds au droit du motu, le choix de sa localisation et de sa surface devra impérativement tenir compte de la nature des fonds de l'ensemble du secteur concerné (au droit du projet et au niveau des zones voisines).



De façon générale, la réalisation de motus artificiels est à déconseiller. Elle devra être interdite dans les milieux sains et pourra être envisagée dans le cas particulier d'un site dégradé pour lequel des projets de motu seront associés à une restauration du site. Le projet devra faire l'objet d'une étude préalable très sérieuse et d'un contrôle rigoureux en phase chantier.

En cas de réalisation de tels aménagements, les recommandations porteront sur :

- La nature des fonds. Même dans un site fortement dégradé, l'analyse de la zone permettra d'optimiser la localisation des aménagements et de "sauver" les quelques rares coraux vivants en les déplaçant avant le chantier.
- Les conditions hydrodynamiques et sédimentologiques du site (et notamment la direction des vents, houles et courants dominants). Ce remblai sera un obstacle à la circulation des eaux, sa forme devra donc favoriser les écoulements et éviter les risques d'érosion du motu et du littoral ou les risques de stagnation. La forme devra donc être adaptée aux conditions hydrody-

namiques (par exemple forme oblongue, type goutte d'eau - rappelant les cayes sableuses - dans le sens des courants dominants). On évitera les formes anguleuses favorisant, en fonction du site, érosion ou hypersédimentation (voire stagnation des eaux). Enfin, les rivages du motu devront de même avoir des structures adaptées aux conditions hydrodynamiques et à la sensibilité des fonds. Chaque cas est un cas particulier, il sera donc nécessaire d'optimiser, pour les différentes expositions du motu, la pente du rivage et la nature des matériaux de protection de l'îlot.

On évitera dans les zones exposées la mise en place de murs verticaux et imperméables, favorisant l'érosion et la dégradation éventuelle des ouvrages.

Un soin particulier devra être apporté à l'aspect paysager (vision du large ou du lagon et du littoral). La liaison remblai - platier au niveau du motu devra présenter un aspect naturel, limitant l'impression d'artificialisation du site.

La conception d'ensemble du projet, dans le cas d'association de plusieurs motu, de pontons, de passerelles et bungalows sur pilotis, devra intégrer les effets cumulés des différents ouvrages sur le milieu au niveau hydrodynamique, sédimentologique et paysager ainsi que l'effet de coupure sur la circulation des embarcations des riverains et pêcheurs.

Enfin, dans l'hypothèse d'un traitement des eaux usées des bungalows implantés sur le motu (ou attenant à celui-ci), un soin particulier devra être apporté au dimensionnement des ouvrages de traitement (épandage notamment) afin d'éviter tout risque de pollution des eaux lagunaires par les nutriments (risque d'eutrophisation en zone calme) et par les germes pathogènes (risque sanitaire pour la baignade autour des motu).

Phase chantier

Le motu étant un remblai, on se référera aux recommandations données dans le paragraphe relatif à ce type d'ouvrage.

Des recommandations complémentaires porteront sur le choix de la technique de mise en place des matériaux de remblai, type chemin de drague ou par transport en barge). Les impacts sur le milieu en phase chantier seront différents.

L'utilisation d'un "chemin de drague" sera l'option la plus pénalisante pour le milieu et imposera des protections par écrans lors de la construction du chemin, puis lors de son retrait. Une restauration physique des fonds sera nécessaire en fin de chantier (curage des blocs, blocailles, sédiments fins).

Maintenance et suivi

Les motu nécessiteront une maintenance importante : vérification de l'état des talus de protection, des végétalisations de haut de talus, du profil des plages, de la propreté des berges et des fonds.

Des vérifications régulières de la qualité des eaux de baignade seront à faire en cas de traitement des eaux usées sur le motu.

j) La gestion des déchets d'un complexe hôtelier

La gestion des eaux usées

—> Conception du projet

On recherchera une filière d'épuration visant à ne pas rejeter les eaux usées en milieu lagonaire. En fonction des contraintes de site, les solutions suivantes sont à étudier :

- raccordement à un réseau collectif (lorsqu'il existe),
- micro-station avec un niveau de traitement permettant la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation des jardins (goutte à goutte). Des précautions seront à prendre au niveau du traitement bactériologique, et du choix des heures d'irrigation,
- lagunage (cette solution nécessite une surface disponible importante, elle est par contre très intéressante au niveau de sa gestion et de l'abattement bactérien),
- fosses septiques suivies d'un épandage (dans ce cas, on vérifiera les caractéristiques hydrogéologiques du site, afin d'éviter toute pollution de la nappe, notamment dans les atolls, où la lentille d'eau douce représente un capital à protéger impérativement.

Dans le cas d'un rejet des eaux usées en mer par émissaire, préalablement traitées, une étude du point de rejet sera nécessaire, afin d'éviter tout risque de pollution du milieu récifal par les nutriments (risque d'eutrophisation), et de dégradation de la qualité des eaux de baignade (germes pathogènes). L'étude prendra en compte les conditions hydrodynamiques du site afin de vérifier par simulation les risques de retour des effluents vers les zones sensibles et d'estimer les dilutions probables des effluents. On prendra dans les calculs les conditions les plus défavorables. Le positionnement du point de rejet sera défini en fonction des normes en vigueur concernant la qualité des eaux de baignade. On évitera impérativement les zones peu profondes et confinées.

—> Phase chantier

Le choix du tracé de l'émissaire devra tenir compte de la sensibilité du milieu récifal. On évitera les platiers récifaux construits et vivants et les pentes externes fortes.

La conduite sera si possible ensouillée sur tout ou partie de son tracé. L'emploi d'explosif pour les travaux de déroctage sera à éviter, voire à proscrire en fonction de la sensibilité du site.

Les précautions d'usage proposées pour les travaux de terrassement ou de dragage sont applicables pour la pose d'une conduite.

Le point de rejet devra être balisé. Les mouillages seront à interdire sur l'axe de la conduite et à proximité du point de rejet.

—> Maintenance - suivi

On vérifiera régulièrement l'état de la conduite (risque de fuites à proximité du littoral), l'état du diffuseur et les points d'ancrage (pour les risques cycloniques). Un suivi de la qualité des eaux de baignade sera à effectuer dans la zone sous influence probable de rejet.

La gestion des déchets solides

Les déchets solides correspondent essentiellement aux débris végétaux de jardins et aux ordures ménagères, et représentent en moyenne :

- sans déchets verts : 2 à 2,5 kg/j/client,
- avec déchets verts : 3 kg/j/client.

Dans le cas d'une gestion collective des déchets solides au niveau de la commune, il n'existe pas de problème majeur à résoudre. Les précautions sont toutefois à prendre au niveau de la collecte au sein du complexe hôtelier et en matière de stockage entre deux ramassages collectifs.

Dans le cas d'une gestion des déchets au niveau de l'hôtel (cas fréquent pour les projets isolés localisés notamment sur des îlots ou dans les atolls), on évitera la solution la plus simple consistant à créer une décharge et à brûler à l'air libre les déchets.

L'effet du brûlage conduit aux principales nuisances suivantes :

- fumées très abondantes,
- émanations nauséabondes et parfois toxiques,
- présence d'un volume de cendres et déchets non combustibles (verres, métaux) d'aspect peu agréable et difficile à gérer sur un espace restreint.

Enfin, les décharges peuvent d'autre part entraîner la pollution des zones voisines :

- par la dispersion par le vent des éléments les plus légers (sacs plastiques, ...) dans les arbres, sur le littoral ou en milieu récifal (aspect esthétique et risque d'asphyxie de certaines espèces),
- par l'apport en nutriments ou en produits toxiques dans les nappes d'eau douce, ou dans le lagon.

Il semble préférable de s'orienter vers d'autres solutions comportant :

- en amont un tri sélectif (système à deux poubelles : poubelle pour déchets organiques, et poubelle pour autres déchets),
 - puis le traitement des déchets verts (ou organiques) par compostage avec réutilisation pour la fertilisation des jardins et espaces verts,
 - pour les autres déchets on peut envisager trois solutions :
 - soit la mise en place d'un incinérateur pour les déchets combustibles, les autres déchets devant être enfouis ou évacués. Cette solution n'est pas entièrement satisfaisante dans la mesure où l'incinérateur représente un coût important au niveau de l'investissement, de l'exploitation et de la maintenance, qui n'est pas ailleurs pas en rapport avec le niveau de service fourni. Ce type d'appareil améliore la combustion, mais les problèmes liés aux fumées et à l'élimination des mâchefers demeurent ;
 - soit l'évacuation des déchets non organiques vers un centre d'enfouissement technique (C.E.T.) ;
 - soit lorsqu'il n'existe pas de C.E.T., la réalisation d'une tranchée pour effectuer un enfouissement contrôlé sur le site avec après chaque enfouissement un recouvrement de terre.
- Dans le cas de la présence d'une nappe d'eau douce dans le terrain, on s'assurera de la faisabilité de l'opération d'enfouissement vis-à-vis des contraintes environnementales liées à la pollution de la nappe.

Aire de baignade



→ Conception, chantier

Dans le cas d'un réaménagement de plage, sans reprofilage des fonds, il est malgré tout souvent nécessaire, sur les platiers de récifs frangeants à accumulations détritiques de procéder à un nettoyage des fonds (curage des sédiments sablo-vaseux, élimination des blocs et blocailles de corail mort, mise en place d'une couche de sable blanc corallien). Ces différents travaux ne présentent pas de contraintes majeures en matière d'environnement : les précautions à prendre concernant la protection, voire le déplacement des quelques pâtés coralliens vivants éventuellement présents. Dans le cas d'un curage des fonds à l'aide d'une suceuse, on se référera aux précautions proposées dans le cas d'un dragage (refoulement en bassin de décantation, protection par écran, etc.).

Il est important de signaler que dans le cas de la mise en place d'une couche de sable blanc corallien (en général 10 à 20 cm), il est impératif que le fond soit exempt de sédiments très fins sablo-vaseux, car les animaux fouisseurs présents dans ces dernières formations, remanieront très rapidement la couche superficielle de sable blanc, qui deviendra alors brune à grise.

→ Sécurité - maintenance - suivi

Les aires de baignade devront être balisées dans le cas où des sports nautiques sont pratiqués à proximité. De même les zones à fort courant sont à signaler. Au

niveau de la maintenance, le nettoyage périodique des fonds en cas d'apports de macrodéchets est à prévoir ainsi que le suivi de la qualité des eaux de baignade.

Loisirs nautiques mouillages forains ou organisés

→ Conception, chantier

Le choix du site devra tenir compte de la sensibilité du milieu récifal (zone peu sensible aux effets des ancres, des corps morts et des chaînes mères). Il est à noter qu'il existe des systèmes de corps morts adaptés aux zones sensibles récifales ou d'herbiers et permettant de fortement limiter la destruction des fonds par l'ancrage ou le mouvement des chaînes.

On évitera cependant les platiers coralliens vivants. On tiendra compte d'autre part des contraintes techniques liées au tirant d'eau, aux courants, à l'exposition à la houle.

Dans le cas de mouillages forains importants, il sera nécessaire de mettre en place un système de collecte des déchets. De façon générale, une sensibilisation des plaisanciers aux problèmes liés aux rejets liquides et solides dans les zones de mouillage est fortement souhaitable.

Un balisage des zones de mouillage est à prévoir.

→ Maintenance - suivi

Vérification périodique du bon état des corps morts et chaînes. Si nécessaire, nettoyage périodique de fonds.

Plans d'eau pour activités nautiques (voile, ski nautique, planche à voile, ...)

→ Conception - chantier

Une étude de préfaisabilité est impérative pour vérifier les contraintes de sécurité (hauteur d'eau, conflits d'activités) et d'environnement (zones sensibles : coraux vivants, zone de nurserie ou de frayère, etc.). En cas de contraintes trop fortes nécessitant de reprofiler les fonds coralliens sur de grandes étendues, le projet devra être abandonné.

En cas d'écrêtage de hauts fonds, on limitera au minimum nécessaire, la destruction ou le déplacement de pâtés coralliens. Des protections seront à prendre durant les travaux (cf. dragage). Une restauration physique des fonds sera à prévoir (élimination des blocs et blocailles et réensablement). Le balisage du plan d'eau sera impératif et devra respecter les normes en vigueur.

—> *Maintenance - suivi*

Vérification de l'évolution sédimentologique des fonds et des caractéristiques du plan d'eau (évolution topographique : sécurité).

Aires de snorkeling et de plongée en scaphandre autonome

Un balisage et des actions de sensibilisation (information, plaquette) sont à prévoir pour les zones dangereuses, ou présentant des conflits d'activités. Une information spécifique sera à apporter dans le cas des zones sensibles ou pour les espèces à protéger (interdiction de prélèvement, précautions pour éviter le piétinement, les coups de palmes sur les branches coralliennes fragiles, etc.).

Un suivi de l'évolution des fonds est à prévoir pour les zones très fréquentées. Certains aménagements particuliers tels que des sentiers sous-marins (GR) pourront être proposés, ils seront à étudier par des spécialistes du milieu récifal.

Réalisation de jardins coralliens

Ce type d'aménagement est à envisager comme mesure compensatoire dans le cas où des travaux de terrassement ou de dragage des fonds ont fortement perturbé le milieu, ou en tant qu'aménagement complémentaire pour le complexe hôtelier. La mise en place d'un tel projet impose l'intervention de spécialistes du milieu récifal (ingénieurs et scientifiques) afin de :

- choisir les espèces à transplanter qui doivent être compatibles avec les conditions du milieu,

- choisir le site donneur (zone de prélèvement) en évitant toute dégradation de ce dernier,
- proposer le plan d'aménagement paysager du jardin et définir le cahier des charges pour la réalisation du chantier (modalités de transport des coraux, techniques d'ancrages, etc.).

Le balisage de la zone est impératif et les visites devront être accompagnées par un guide. Ce type d'aménagement nécessitera un suivi scientifique du milieu pendant plusieurs années.

Lagonarium et aquarium

Comme pour les jardins coralliens, une étude spécifique sera nécessaire. Le choix du site devra intégrer les risques de pollution par les rejets des matières organiques provenant de la nourriture des poissons et de leurs fèces.

L'intégration paysagère des structures sera à étudier.

RAPPEL DE QUELQUES MOYENS TECHNIQUES UTILISABLES POUR PROTÉGER LE MILIEU RÉCIFAL DURANT LES TRAVAUX DE DRAGAGE ET DE REMBLAIEMENT

Durant la phase chantier, il est impératif d'éviter toute dispersion des panaches turbides liés aux travaux vers les zones récifales voisines, ces apports de sédiments très fins pouvant asphyxier les formations coralliennes.

Deux solutions sont envisageables, soit la mise en place d'une digue d'enclôture provisoire autour de la zone d'extraction et/ou de remblaiement soit la pose d'un écran ceinturant le site (silt-screen).

Dans le cas d'un refoulement des matériaux de dragage à terre, ou de curage des zones vaseuses, il sera nécessaire de mettre en place des bassins de décantation afin d'éviter le retour par gravité des eaux turbides liées au refoulement vers le milieu récifal.

Ces différentes techniques sont maintenant utilisées de façon courante et ont prouvé leur efficacité (cf. détails guide pratique à l'usage des techniciens). Il est important de rappeler que ces moyens de protection sont à mettre en place impérativement avant le début des travaux et qu'ils nécessitent une maintenance durant toute la phase chantier.



1 - Digue d'enclôture



2 - Écran type Silt-screen



3 - Bassin de décantation

PRINCIPES GÉNÉRAUX CONCERNANT LA RESTAURATION D'UNE ZONE RÉCIFALE DÉGRADÉE PAR DES TRAVAUX DE DRAGAGE

Restauration physique des fonds

Compte tenu des techniques d'extraction utilisés et de l'absence de remise en état du site, on observe le plus souvent sur les anciennes zones exploitées, les principales dégradations suivantes :

- Les excavations ont des contours géométriques et des eaux turbides. La turbidité est liée à la remise en suspension par le clapot des particules fines de matériaux coralliens déposés au fond de la souille durant le chantier et parfois après ce dernier, lorsque la topographie de l'excavation constitue une "zone piège".
- Les fonds de l'excavation et les tombants sont le plus souvent "déserts", les repousses coralliennes étant particulièrement difficiles sur un tel substrat et dans des eaux turbides. Les versants de l'exploitation sont composés de tombants à nu, ou d'éboulis de corail. On y observe après plusieurs années d'arrêt de chantier quelques rares repousse coralliennes.
- Sur le platier récifal voisin de l'excavation, les fonds sont en général recouverts de sédiments fins coralliens ou d'éléments terrigènes, piégés le plus souvent par des lambeaux d'anciens chemins de drague encore en place. Ces dégradations ont des impacts biologiques et paysagers particulièrement importants pour le récif corallien. Ce constat a conduit à proposer une méthodologie relative à la restauration des fonds récifaux après travaux de dragage, applicable pour la réhabilitation de zones anciennement draguées et pour les futurs chantiers.

Les opérations suivantes sont proposées :

- Remodelage des versants et du fond de l'excavation (à l'aide d'une pelle mécanique ou d'une drague suceuse).
- Nettoyage des fonds (à l'aide d'une drague suceuse).
- Réensablement et/ou épandage de matériaux plus grossiers sur les fonds par refoulement à l'aide de la drague.

Ces différentes opérations nécessitent l'utilisation de techniques de protection du lagon (écran, bassin de décantation).

Dans certains cas :

- Mise en place d'enrochements en pied de talus.
- Restauration biologique des fonds (restauration naturelle et / ou restauration semi-artificielle ou artificielle avec transplantation de coraux. Une

expérience en Polynésie française a montré la faisabilité de ce type de restauration, mais qui nécessite impérativement la réalisation d'une étude spécifique par des spécialistes du milieu récifal ainsi que le suivi du site après la mise en place des coraux.



1 - Reprofilage et curage des fonds



2 - Épandage de sable blanc



3 - Vue d'un chantier après restauration physique du fond et du littoral

CONCLUSION

Les récifs coralliens sont parmi les milieux biologiques les plus productifs de la planète. Ils représentent d'autre part un attrait touristique incontestable, par leur intérêt esthétique et les nombreuses activités sous-marines qu'ils autorisent. Ils jouent alors un rôle extrêmement important dans l'industrie du Tourisme, qui pour de nombreux pays reste la principale source de devises.

Protéger les récifs constitue donc une priorité pour les décideurs et aménageurs, qui ont actuellement à leur disposition les outils nécessaires permettant de réaliser des aménagements écologiquement acceptables.

Ces derniers reposent sur :

Une bonne connaissance du milieu récifal, de son fonctionnement, des interrelations entre les milieux terrestres et marins, et de son intérêt écologique et économique.

Les données scientifiques à disposition et les méthodologies d'études permettent de mener à bien l'analyse de l'état initial des sites.

La connaissance des impacts des différents types d'aménagements. L'expérience est actuellement suffisante pour éviter tout au moins les dégradations majeures du milieu naturel.

Dans le cas d'un complexe hôtelier présentant différents types d'aménagements et des activités variées, il sera nécessaire, après avoir analysé les impacts de chaque type d'aménagement, de mener une réflexion sur l'ensemble du projet et de vérifier la comptabilité technique de ces différents types d'aménagements en terme de fonctionnement et au niveau de la réalisation des travaux (phasage des opérations de chantier). En matière d'environnement, il sera de même nécessaire de vérifier les risques de cumul des effets négatifs des différents travaux.

Cette vision globale de l'ensemble du chantier, et du futur fonctionnement du complexe hôtelier permettra dans de nombreux cas de modifier ou d'adopter certains types d'aménagements, afin d'obtenir une cohérence technique et environnementale optimale de l'ensemble.

• **Les moyens techniques adaptés aux chantiers en milieu récifal** permettant de limiter les effets des travaux sur les zones sensibles. Des moyens techniques simples, faciles à mettre en œuvre existent actuellement. Ils

nécessitent pour être efficaces que leur mise en œuvre et leur suivi, durant le chantier, aient été prévus dans le cahier des charges techniques, et qu'un responsable de ces opérations soit effectivement désigné dès le début du chantier.

Les moyens de restauration des fonds dégradés : les techniques de restauration physique des fonds sont maintenant au point. Elles seront souvent nécessaires pour un projet à caractère touristique, et peuvent aller de la simple collecte manuelle de déchets ou de blocs et blocailles, à un reprofilage des fonds suivi d'un curage et de la mise en place d'une couche de sable blanc corallien.

Dans certains cas, une restauration biologique pourra être envisagée, les expériences en cours récemment dans ce domaine ont toutefois montré la faisabilité de telles opérations.

La bonne gestion des aménagements après leur mise en service et le suivi du milieu. Concernant cet aspect, il pourrait être proposé la mise au point de protocoles simples de suivi du milieu littoral et récifal qui pourrait être géré par un organisme officiel local, mais utilisé sur le terrain par un responsable technique dépendant du complexe hôtelier. Cette procédure permettrait d'alerter en cas d'évolution significative de la qualité des fonds et des eaux.

Des mesures rapides pourraient alors être mises en œuvre dans un souci de préservation du patrimoine littoral et récifal, indispensable par ailleurs pour assurer la promotion commerciale d'un complexe touristique.

Dans le même esprit, il pourrait être envisagé de créer un système de type "Label Qualité" ou "Pavillon bleu" comme cela existe pour les communes littorales.

Les moyens scientifiques et techniques sont disponibles, la réussite des projets repose ensuite sur les hommes : communication, sensibilisation, formation sont les atouts nécessaires pour mener à bien un travail d'équipe entre Maître d'ouvrage, Maître d'œuvre, entreprises et bureaux d'études spécialisés en Environnement et aménagement. Seule une coopération étroite durant les différentes étapes d'un projet aboutira alors au but recherché qui consiste à concilier faisabilité technique du projet, contraintes économiques et environnementales.

