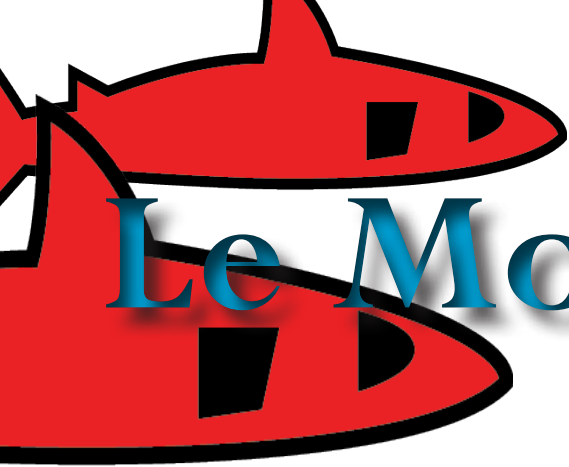
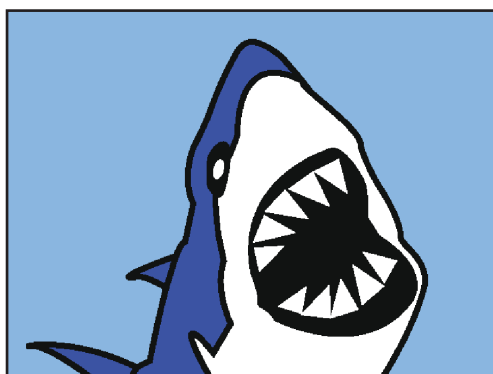
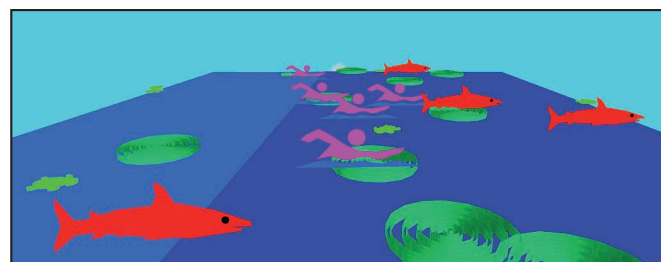
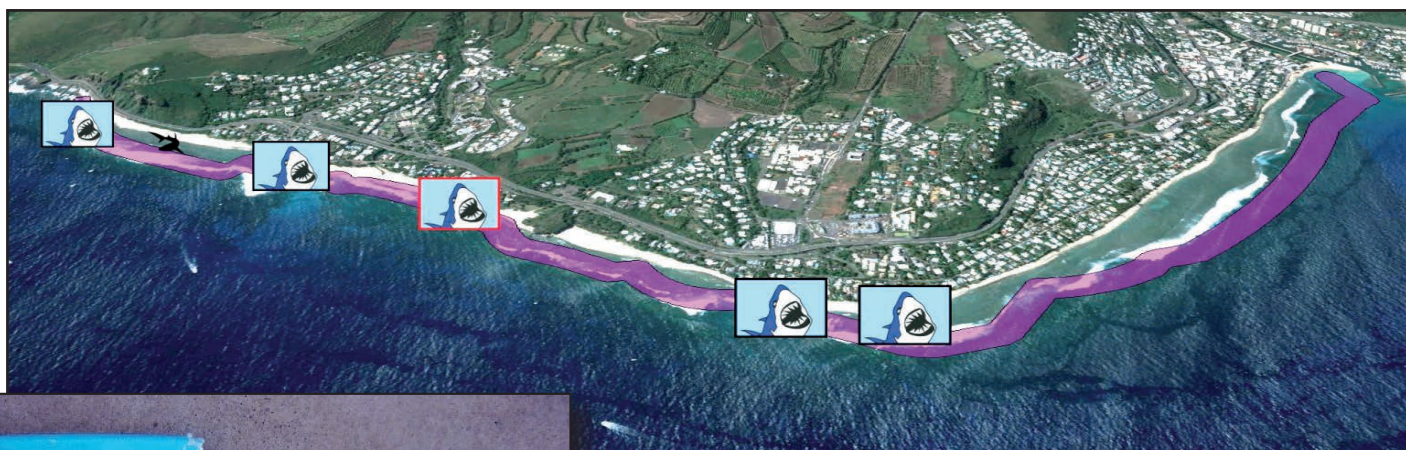




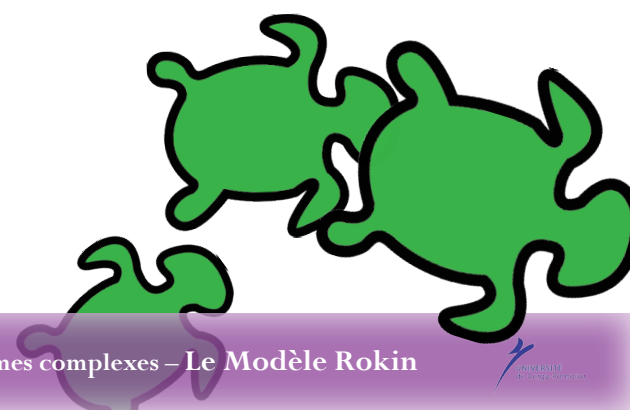
Le Modèle Rokin



Modélisation du risque requin à la Réunion

Atelier de modélisation de systèmes complexes
Sous la direction de Clara Schmitt

Janvier 2013
Georges Hinot
Clément Parmentier
Félix Perrain
Stéphane Fouejio



POURQUOI LE MODÈLE ROKIN ?

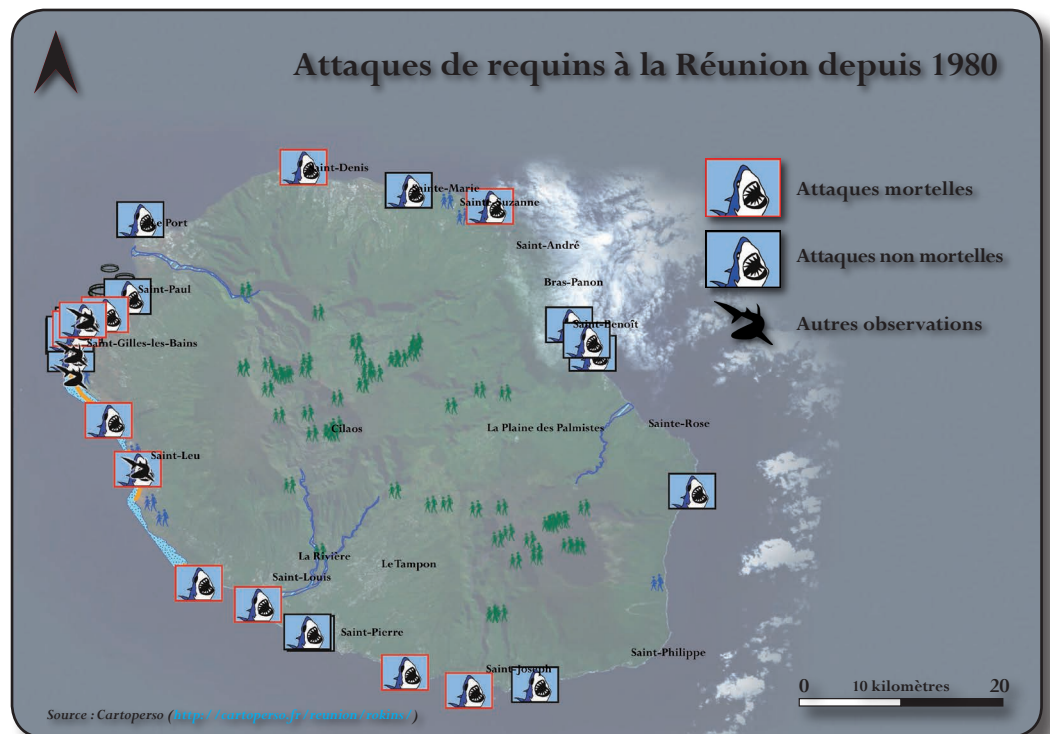
Les attaques de requins à l'île de la Réunion se sont multipliées ces deux dernières années. Les nouveaux comportements des squales rendent perplexes même les spécialistes, et suscitent bien des polémiques. En cause : une série de coupables, et des désaccords entre les acteurs.

À des fins de sécurité, mais aussi de gestion des hommes, le modèle Rokin* tente une plongée en eaux troubles.

Alors qu'il n'est que très rarement mangeur d'hommes, l'ancestrale peur du requin rend ce poisson souvent victime de préjugés.

Les typologies des récentes attaques de requins réunionnais semblent cependant remettre en cause les modèles. Les responsables désignés sont pourtant souvent d'origine anthropique, mais l'émotion, compréhensive, l'emporte souvent. Et le requin est accablé.

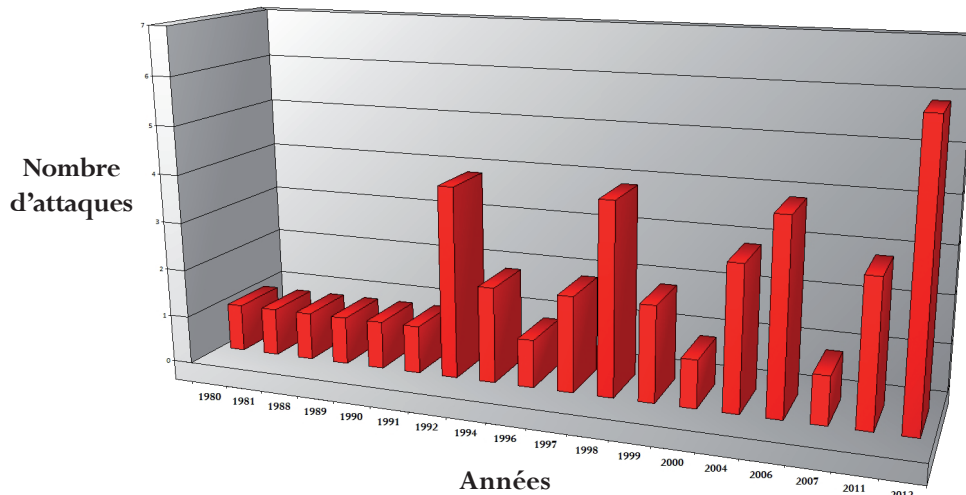
Surpêche, tourisme, méconnaissance du milieu, requins-tueurs... Les coupables évoqués sont nombreux, mais le risque-requin bien réel.



* Le modèle Rokin est téléchargeable à cette adresse : <http://cartoperso.fr/files/Rokin.rar>

* Une webmap, l'application ROKINS, en lien avec le présent dossier, est disponible : <http://cartoperso.fr/reunion/rokins/>

Évolution du nombre d'attaques de requins à la Réunion depuis 1980



Pourtant, malgré un certain déchainement médiatique*, quelques écarts civiques*, et une petite pression politique, dûe au tourisme de l'île, les différents facteurs

évoqués peuvent être pris en compte dans un modèle Netlogo*.

Dans une écologie complexe, et un contexte tendu, il ne s'agira pas ici de trouver la solution au problème des attaques, mais d'aider à faire la part des choses. S'il est possible de mesurer les responsabilités des différents coupables, et de déterminer si les récentes observations ont des causes humaines, ou plus systémiques, nous atténuerons peut-être les tensions et pourrons choisir, plus sereinement, de nous diriger vers des solutions matérielles, ou au contraire plus sociétales.

Nous présenterons donc d'abord notre modèle, en expliquant son paramétrage, avant de fournir, dans une seconde partie, un exécutable référentiel que nous verrons indispensable.

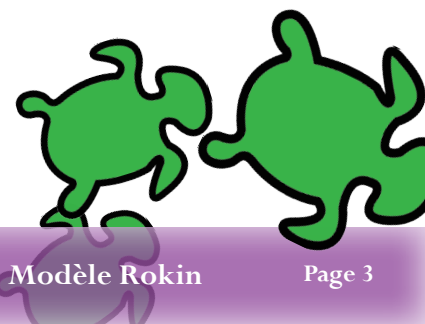
Enfin, le modèle Rokin livrera quelques résultats, qu'il nous faudra comprendre.

Pourquoi le modèle Rokin ?...	2
Paramètres.....	4
Simplifier La Réalité.....	4
Les Agents.....	6
Le modèle de référence.....	7
Correspondre à la réalité.....	7
Un modèle de référence.....	8
Responsabilités.....	9
Premières comparaisons.....	9
Culpabilité(s).....	13
Rapports de force.....	14
Culture du risque.....	16
Index.....	17

* Voir la webmap ROKINS (<http://cartoperso.fr/reunion/rokins/>), <http://www.spotsurf.fr/2012/08/13/attaque-de-requins-a-la-reunion-manifestation-des-surfeurs/> ou encore <http://blog.surf-prevention.com/2012/08/05/attaque-de-requin-saint-leu/>

* : Manifestations ayant dégénérées ou chasse illégale.

* : Logiciel de modélisation, librement téléchargeable et permettant de programmer ses propres simulations (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>).



PARAMÈTRES

Simplifier La Réalité

Le modèle Rokin ne prétend pas reproduire la réalité de ce milieu complexe, dont des éléments peuvent encore échapper à la compréhension humaine, mais souhaite observer des tendances comportementales, en fonction de variables connues et vérifiées.

Avant d'évoquer le paramétrage des agents, notre modèle prend en compte **les trois principaux facteurs du risque requin*** : **la méconnaissance du milieu, la surpêche et la surfréquentation.**

La méconnaissance du milieu

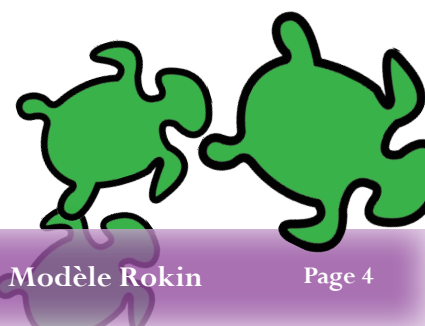
Certaines espèces de requins affectionnent les eaux troubles pendant leur période de reproduction. Ayant une mauvaise vision oculaire, ils y sont cependant moins à l'aise, et confondent parfois dit-on, les nageurs avec des phoques et les surfeurs avec des tortues. De nombreuses attaques de requins à la Réunion sont décrites comme ayant eu lieu en eaux troubles.

D'autres attaques sont décrites comme ayant eu lieu au coucher ou au lever du soleil, moments de la journée déconseillés par les surfeurs. Ces périodes de chasse pour les requins sont aussi celles où l'angle des rayons du soleil peut altérer la vision sous-marine.

Nous implémenterons donc des **zones turbides**, aggravant la *prédacité* des requins pour l'homme.

Au delà de la simple turbidité des eaux, nos zones troubles symboliseront donc plus généralement **la méconnaissance du milieu** que peuvent parfois avoir les hommes, qui s'aventurent ainsi en terrain dangereux.

* Selon les attaques décrites dans la webmap ROKINS (<http://cartoperso.fr/reunion/rokins/>).



La surpêche

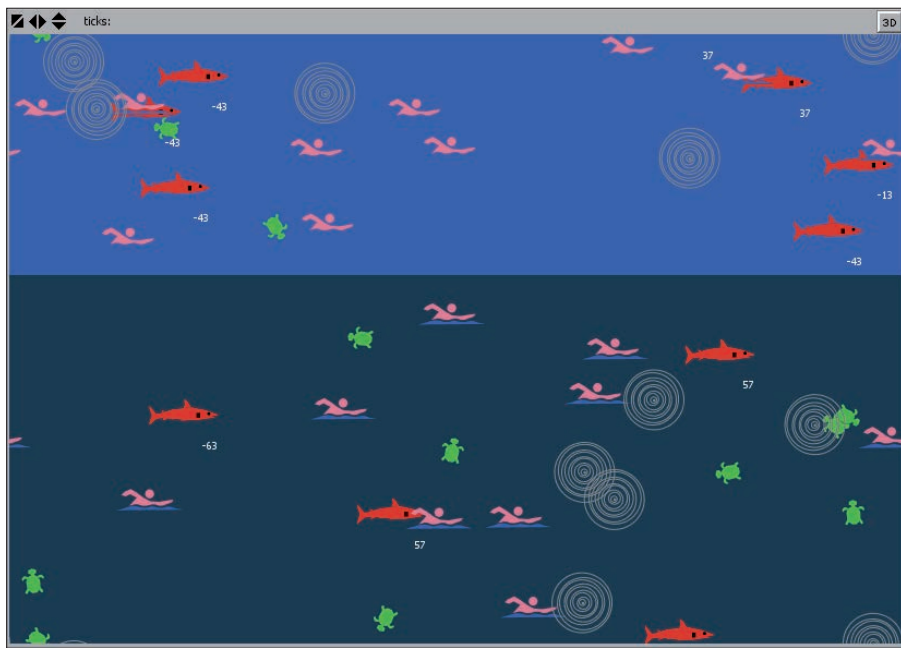
La croissance des populations humaines use toujours plus les ressources halieutiques. À la Réunion, certains imputent l'augmentation des attaques de requins à la surpêche. La pêche industrielle, au large, rabattrait les requins près des côtes, tandis que la pisciculture, près du littoral (en mer ou dans les terres, avec rejets en mer), y attirerait les requins.

Nos populations de tortues symbolisent donc l'impact de cette surpêche et la population de toutes les proies habituelles des requins.

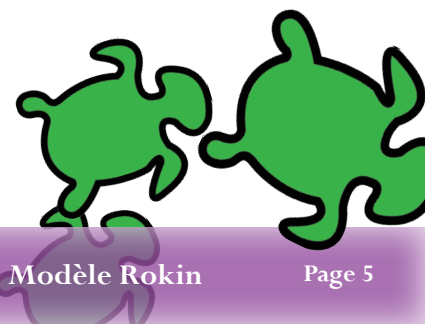
La surfréquentation

Tout comme la croissance des populations humaines, le tourisme à l'île de la Réunion surpeuple certaines plages. En présence de requins, et sous l'effet des autres facteurs de risques, **le peuplement humain des zones de baignade serait donc lui-même un facteur de risque.**

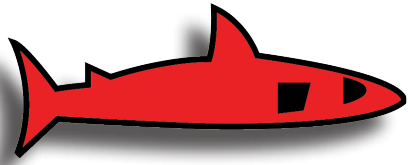
La surfréquentation sera facilement implémentable en modifiant les populations de nageurs dans la zone.



Nos besoins ainsi définis, nous pouvons modéliser des individus, pourvus de procédures informatiques simulant la réalité.



Les Agents

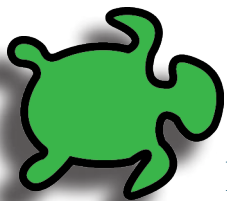


Les requins : Ils sont finalement l'objet ou la cible de toutes nos procédures. En effet c'est bien leur responsabilité dans les événements que l'on souhaite évaluer :

Les requins consomment les tortues sans condition, ce qui leur fait gagner de l'énergie. Ils ne consomment les hommes qu'à condition d'être en manque d'une certaine quantité d'énergie (et n'y gagnent en tous les cas que peu d'énergie), ou d'être à proximité d'une zone turbide.

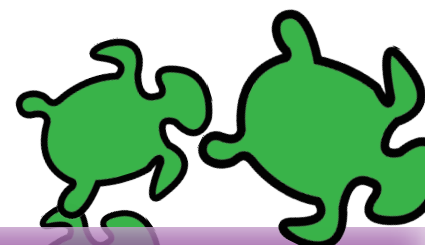
Ils se déplacent plus rapidement et avec plus d'amplitude que les autres agents. Leur mort, suite à un minimum énergétique, est fictive. Elle symbolise davantage leur fuite hors d'une zone appauvrie en proies disponibles.

La turbidité : Elle augmente la qualité de prédateur qu'est le requin pour l'homme. Les zones de turbidité ne sont pas des patchs, mais bien des turtles. Ce n'en demeure pas moins des conditions environnementales, mais que nous pouvons maintenant davantage paramétrer..



Les tortues : Elles simulent l'abondance ou l'absence des proies habituelles des requins, supposant ainsi un milieu favorable aux requins, ou au contraire l'impact de la surpêche.

Les nageurs : Ils sont bien l'objet d'étude de notre modèle. **C'est plus précisément leur vitesse de disparition qui va nous intéresser. Comment varie-t-elle en fonction des modifications des autres paramètres ?** Ils ne sont l'objet d'aucune procédure particulière, plutôt la cible.

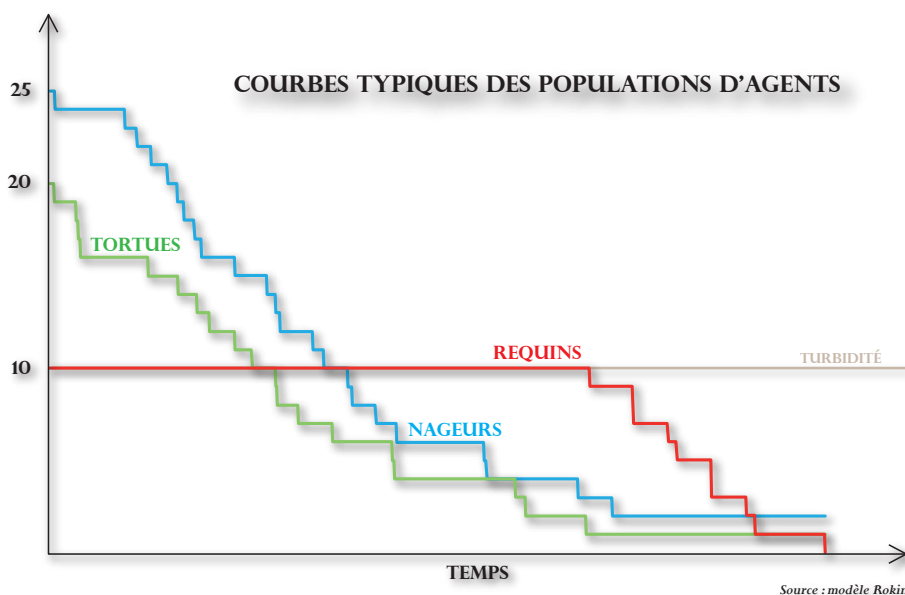


LE MODÈLE DE RÉFÉRENCE

Correspondre à la réalité

L'informatique, même avec les plus grands moyens, ne permet pas encore de reproduire une stricte réalité. Dans le même temps, la théorie de la relativité remet en cause l'observation même de cette réalité.

Ainsi le modèle Rokin tente davantage une simulation des comportements. Mais justement, comment les définir ?

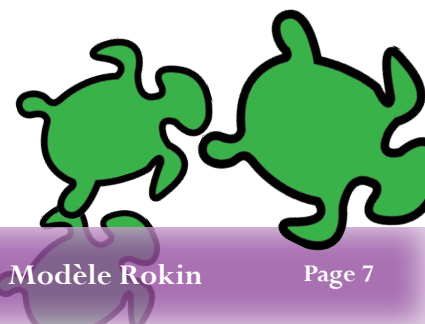


Typiquement, en fonction de l'implémentation du code* et d'un paramétrage arbitraire des populations d'agents, le modèle a tendance à faire « fuir » les requins hors de la zone dès que leur énergie est insuffisante (voir graphique ci-contre). Ce qui correspond à la réalité, où les requins s'aventurent peu

près des côtes et des hommes.

En revanche, les courbes démographiques supposent la forte emprise du requin sur les populations d'hommes et de proies disponibles. En effet le nombre de requins ne chute qu'après avoir fortement impacté les autres populations d'agents. Leur baisse influant l'énergie des requins et stimulant leur départ de la

* Le modèle Rokin est téléchargeable à cette adresse : <http://cartperso.fr/files/Rokin.rar>, et son code abondamment commenté.



zone.

Ceci correspond beaucoup moins à la réalité, où une attaque de requin sur un homme reste exceptionnelle.

Nous devons donc partir à la recherche d'un modèle de référence.

Un modèle de référence

En paramétrant ainsi le modèle :

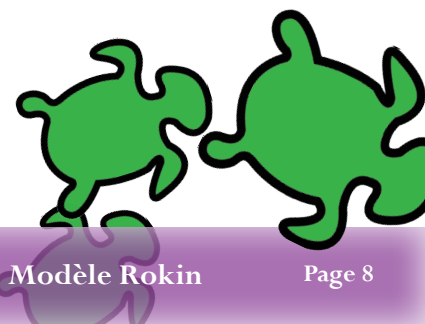
Nombre de nageurs 15	Nombre de tortues 10	ROKIN	Nombre de requins 3	Nombre de zones turbides 3
-------------------------	-------------------------	-------	------------------------	-------------------------------

On obtient une situation s'approchant du réel : **3 requins** pénétrant dans une zone fréquentée par **15 nageurs**, dans laquelle co-existent d'éventuelles proies (**10 tortues**) et la probabilité de s'aventurer dans une zone turbide (**3 zones turbides**).

En simplifiant ainsi certes, les conditions environnementales décrites lors des attaques connues, on observe bien certaines tendances logiques : en moyenne et sur dix tests d'exécution du modèle (voir tableau ci-contre), seulement 1 nageur a subi une attaque (6,6%), tandis que les tortues sont consommées de façon beaucoup plus conséquente (27%).

Ce référentiel constituera notre paradigme.

3 requins / 3 zones turbides / 15 nageurs / 10 tortues		
Test	Nageurs	Tortues
1	14	7
2	14	8
3	14	6
4	14	6
5	14	8
6	15	7
7	14	8
8	13	7
9	15	7
10	13	9
Moyenne	14	7.3



RESPONSABILITÉS

Premières comparaisons

Ainsi normalisé, nous pouvons maintenant jouer sur nos trois principaux facteurs de risque (la méconnaissance du milieu, la surpêche et la surfréquentation), en créant **trois nouveaux modèles du risque : le modèle turbide, le modèle de surpêche, et le modèle de surfréquentation.**

Danger en eaux troubles

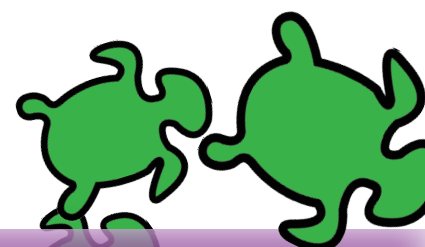
Multiplier par deux le nombre de zones turbides par rapport au modèle de référence, double presque les pourcentages de nageurs tués : 12% des nageurs disparaissent (contre 6,6%).

Soit un rapport quasiment proportionnel entre la dangerosité des eaux et leur turbidité, passant presque du simple au double.

3 requins / 6 zones turbides 15 nageurs / 10 tortues		
Test	Nageurs	Tortues
1	13	7
2	14	7
3	12	7
4	11	9
5	14	6
6	12	10
7	14	9
8	14	7
9	13	8
10	15	10
Moyenne	13.2	8
Pourcentage d'agents tués	12 %	20 %

Aller à l'eau dans ces conditions est donc, comme le savent les surfeurs, un risque que l'homme peut directement craindre. Or ces conditions défavorables, en n'étant pas considérées, implique la méconnaissance du milieu qu'en a l'homme.

Le risque pour la faune pélagique a lui réduit (20% de proies consommées contre 27% dans le modèle de référence). **Les tortues et les hommes sont donc dans une opposition forte quant à leur rapport avec la turbidité des eaux de mer.** Les proies habituelles en profitant et les nageurs la subissant. Ceci évoque le réel, mais surtout symboliquement : la faune pélagique serait *plus en sécurité / plus à l'aise* que les hommes dans les eaux troubles.



Nous ne prétendrons pas ici en tirer des conclusions éthologiques, mais ceci va dans le sens de notre modèle de référence.

Cette baisse de la mortalité des proies par rapport au modèle de référence, alors même qu'elles ne sont aucunement liées aux eaux troubles (dans la programmation du modèle), s'explique par la faiblesse de l'apport énergétique que la consommation d'homme procure aux requins.

En effet et au vu de leur perte d'énergie à chaque déplacement : entre le moment où ils tuent un homme ou une tortue, et leur prochaine consommation d'agents, les requins perdent plus d'énergie qu'ils n'en gagnent à s'attaquer aux hommes plutôt qu'aux tortues. Leur fuite hors de la zone arrive donc plus vite s'ils se dirigent vers des proies humaines. Et davantage de tortues survivent.

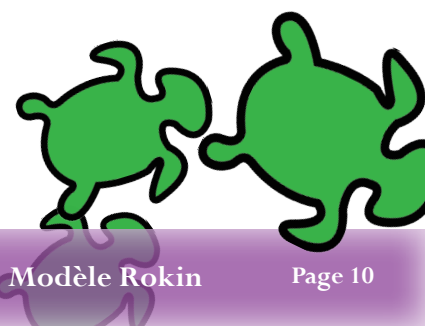
Ceci est confirmé par les spécialistes des squales, qui expliquent que l'homme ne constitue pas une nourriture « équilibrée », ni véritablement énergétique pour les requins, et qu'il n'entre pas dans leur régime alimentaire*. Nous pouvons donc voir ici, et a posteriori, la validité expérimentale de notre modèle de référence.

Ces points positifs pour notre programmation ne suffiront malheureusement pas à conclure. En effet si la grande majorité des attaques décrivent effectivement des requins qui « goûteraient » l'homme, puis s'en détourneraient, à la Réunion et récemment, au moins une attaque* décrit de façon formelle des comportements très différents, où les requins ont véritablement consommé leur proie humaine. En vue de l'amélioration de notre modèle de référence, nous pouvons donc au contraire noter la possibilité d'augmenter le gain d'énergie que procure un nageur, afin de réduire cet écart (20% contre 27%).

Mais pour l'heure poursuivons, et tentons d'autres tests avec les mêmes paramètres.

* : J.LEFUR, 2002 (<http://www.mpl.ird.fr/ci/peg/infos/0284.gif>).

* L'attaque d'un bodyboarder professionnel le 19 septembre 2011 reste dans les mémoires. Sur un spot de surf fréquenté, l'homme est littéralement dévoré par deux squales, malgré les tentatives de sauvetage de deux autres riders.



Une extinction à double sens

3 requins / 3 zones turbides / 15 nageurs / 5 tortues		
Test	Nageurs	Tortues
1	15	4
2	15	5
3	13	5
4	13	4
5	13	4
6	12	4
7	15	3
8	13	5
9	14	5
10	13	3
Moyenne	13,6	4,2
Pourcentage d'agents tués	9,3 %	16 %

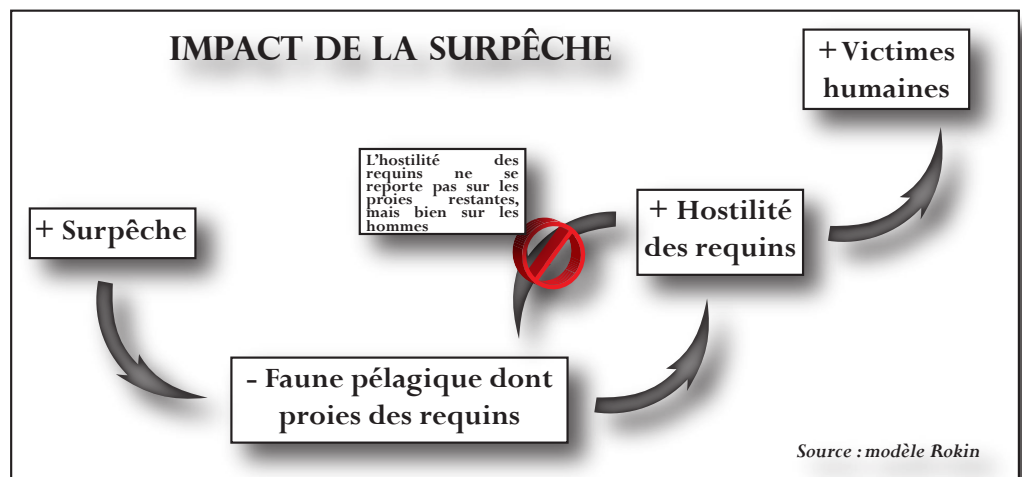
L'impact de la surpêche, c'est-à-dire la baisse du nombre de proies habituelles disponibles (**ici la population des tortues divisée par deux**), est également incisif : 9,3% des hommes et 16% des tortues disparaissent. Soit une augmentation due à la surpêche de presque 50% du nombre de victimes humaines par rapport au modèle de référence. Un important rapport entre la surpêche et la mortalité humaine en mer (mais moitié moindre par rapport au modèle plus turbide).

Autrement dit, quand les requins pénètrent dans une zone fréquentée par des nageurs, la population de proies classiques disponibles influe bien sur leur hostilité envers les nageurs. **La surpêche semble donc elle aussi avoir un rôle dans la prédacité des requins pour l'homme.**

Diminuant les ressources halieutiques, **la surpêche rabattrait donc bien les requins sur les hommes** (voir schéma ci contre).

D'autrepart, la baisse du nombre de proies semble les rendre moins vulnérables, puisqu'on observe également une baisse de la proportion de tortues tuées : 16% contre 27%. Sans aller jusqu'à s'habituer à l'homme, on

peut déjà s'interroger sur **une nouvelle conséquence de la surpêche : le progressif changement de régime alimentaire des requins**. En effet si la proportion de proies habituelles consommées est ici plus faible que dans notre modèle de référence (pour le même nombre de requins) c'est bien que dans la même dépense énergétique



(mais dans un temps fatalement plus court), ceux-ci ont consommé beaucoup moins de proies classiques.

Notons enfin que la baisse de la population des tortues, autrement dit **la surpêche, semble avoir sur la mortalité humaine un impact moins conséquent que l'augmentation de la turbidité des eaux.**

Une fréquentation inoffensive

Avec un nombre de nageurs maintenant doublé, **la surfréquentation par l'homme des littoraux influe peu sur la mortalité des agents humains**, tant par rapport au modèle de référence que par rapport aux modèles *turbide* et *de surpêche*.

Cela est une surprise (un facteur de seulement 1,3 malgré le doublement des nageurs), et semble en contradiction avec certains arguments évoquant notamment le report des attaques sur les surfeurs, quand la surfréquentation les pousse à s'éloigner.

3 requins / 3 zones turbides / <u>30 nageurs</u> / 5 tortues		
Test	Nageurs	Tortues
1	22	6
2	27	9
3	27	8
4	28	7
5	29	9
6	23	7
7	30	8
8	30	10
9	30	10
10	29	8
Moyenne	27,5	8,2
Pourcentage d'agents tués	8,3 %	18 %

Il faut surtout souligner **la faible attirance qu'ont les requins pour les zones anthropisées**, ce que prévoyait déjà les spécialistes : confrontés à davantage d'hommes, les requins présents dans la zone vont certes davantage en consommer, mais leur *prédacité* n'est pas proportionnellement exacerbée. Ils ne persisteront donc pas significativement plus longtemps dans la zone. Respectant ainsi leur régime alimentaire.

C'est d'ailleurs conforme à la situation réunionnaise, où aucune attaque n'a eut lieu au cœur des zones de baignade les plus connues.

L'instinct de survie des proies a lui progressé, toujours en opposition avec la mortalité humaine, mais de façon légèrement moins efficace que sous l'effet de la surpêche (18% d'agents tués contre 16% précédemment).



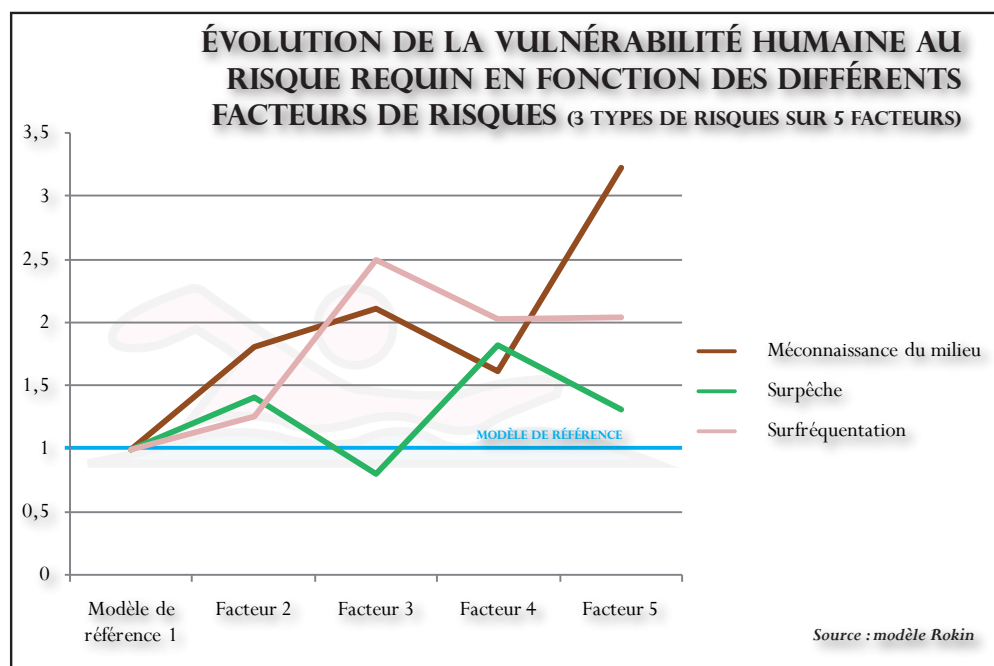
Culpabilité(s)

Mais ces premières observations, si elles permettent de préciser certaines tendances, et de dégager certaines responsabilités, ne suffisent pas à conclure. Nous pouvons avant observer les évolutions démographiques, non plus seulement en fonction des types de risques, mais aussi en fonction de facteurs d'augmentation.

Facteurs de modification (%)	Modèle de référence	Facteur 2		Facteur 3		Facteur 4		Facteur 5	
		Nageurs	Tortues	Nageurs	Tortues	Nageurs	Tortues	Nageurs	Tortues
Méconnaissance du milieu	1	1,818181818	0,740740741	2,121212121	0,851851852	1,616161617	0,703703704	3,232323232	0,925925926
Surpêche	1	1,409090909	0,592592593	0,808080808	0,617283951	1,818181818	0,740740741	1,313131313	0,740740741
Surfréquentation	1	1,257575758	0,666666667	2,491582491	0,740740741	2,02020202	1,148148148	2,040404041	0,851851852

En rapportant les proportions d'agents tués à celles du modèle de référence (tableau ci-dessus*), nous pouvons mettre en valeur les responsabilités des trois types de risques entre eux.

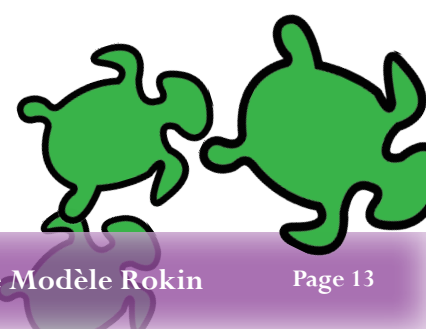
Et c'est la **méconnaissance du milieu** qui semble être le **facteur de risque le plus radical** (graphique ci dessous*). Soit encore et toujours le besoin de cette fameuse culture du risque, même concernant le risque requin.



Le sous-classement de la surpêche, et son évolution plutôt régulière, est plus étonnant. Souvent incriminée, **la surpêche serait finalement peu coupable.**

La surfréquentation également, dont

* Il s'agit de rapports entre les résultats de modèles avec les facteurs de risques multipliés par 1, 2, 3, 4, et 5, et les résultats du modèle de référence, à chaque fois sur dix tests d'exécution. Les calculs sont basés sur les proportions d'agents tués dans les modèles turbide, de surpêche et de surfréquentation, divisées par les proportions d'agents tués dans le modèle de référence.
Un fichier Excel est disponible (http://cartoperso.fr/files/statistiques_rokin.xlsx), permettant de vérifier les résultats.



l'augmentation n'impacte absolument pas de façon proportionnelle la vulnérabilité des nageurs.

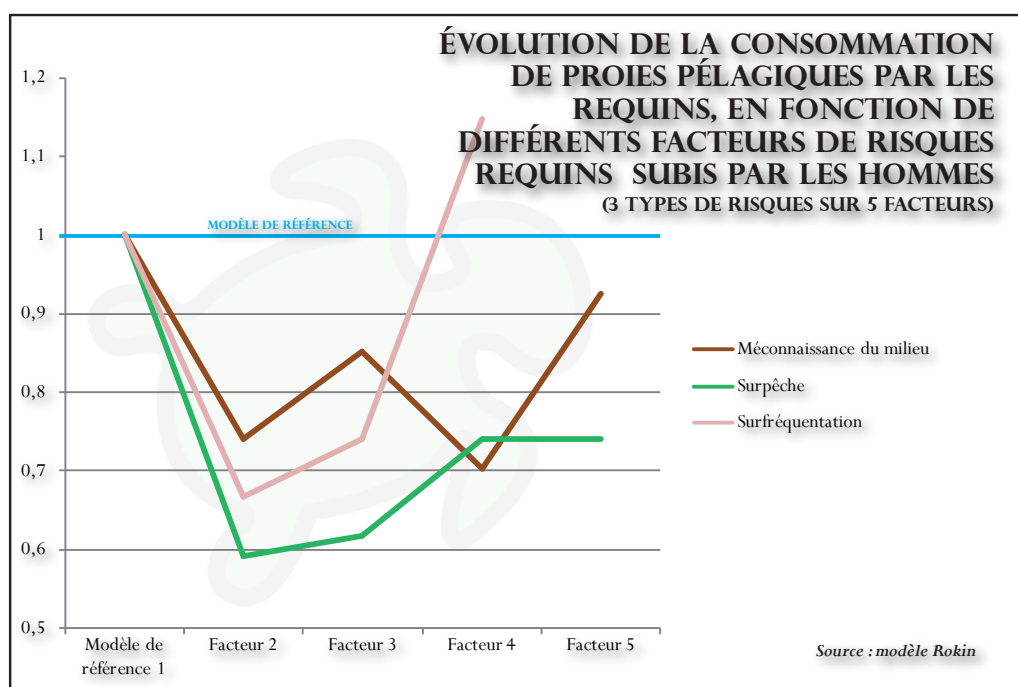
Rapports de force

Les chiffres le montrent bien, les modifications des facteurs de risques impactent aussi les populations de proies habituelles des requins.

Dans le cas de la surpêche, ce n'est pas étonnant, car il s'agit d'une modification de cette population même.

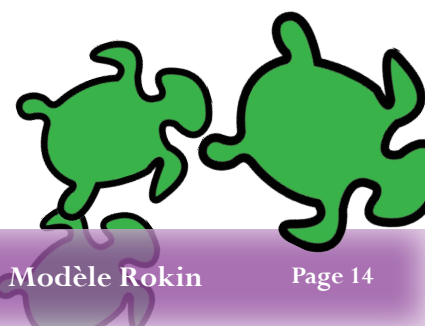
Dans le cas de la méconnaissance du milieu et de la surfréquentation, ça l'est plus. En effet la programmation du modèle ne lie absolument pas turbidité et consommation de tortues, et ne suppose pas un rapport direct entre agents humains et pélagiques.

On peut donc regarder le comportement démographique de la faune marine sous l'effet d'une hausse des facteurs de risque requin pour l'homme (graphique



ci-contre). Il faudra davantage y voir les conséquences de la hausse de la vulnérabilité humaine en mer.

De façon générale, l'accroissement de la vulnérabilité des nageurs aux requins semble ralentir celle



de la faune marine.

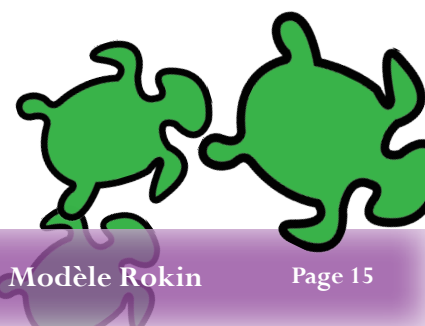
Dans le cas de la surfréquentation, des requins qui se reporteraient davantage sur les hommes changeraient plus vite de zone de chasse. Et c'est l'impact le plus important pour la faune marine. Dans le cas de la méconnaissance du milieu, la même logique est à l'œuvre, mais l'impact sur les proies est moindre car les requins quittent encore plus vite la zone, ayant perdus beaucoup plus d'énergie à consommer des hommes, qui sont moins nombreux.

Pour la surpêche, c'est sans doute la diminution du nombre de proies qui les rend plus difficilement approchables par les requins.

Cette diminution de la consommation du nombre de proies habituelles des requins (qui toutefois faiblit avant de s'inverser quand les rapports dépassent le facteur 3), décrit moins le comportement des tortues qu'une conséquence sur les requins : **la possibilité d'un changement de régime alimentaire des squales, qui finalement s'habitueraient à l'homme.**

Cette remarque vient aggraver la vulnérabilité des hommes, mais est sans doute moins prégnante que la méconnaissance du milieu marin.

Entre autre, le modèle Rokin met donc en avant certains phénomènes liés à la hausse des attaques de requins à la Réunion.



CULTURE DU RISQUE

Une vulnérabilité très humaine

La méconnaissance qu'a parfois l'homme du milieu dans lequel il s'aventure, peut causer sa perte.

Le modèle Rokin, et en particulier *le modèle turbide*, a objectivement montré qu'elle augmente de façon tellement conséquente la part de victime humaine, que cette imprudence peut être considérée comme le facteur principal du risque requin.

Cette ignorance, et ses conséquences, accusent un manque de culture du risque autour des zones soumises à l'aléa.

La surpêche et la surfréquentation des sites, souvent incriminées, peuvent être écartées des coupables. Décidemment, des inondations aux cataclysmes nucléaires, en passant par le risque requin, la responsabilité sociétale de l'homme dans les aléas qu'il subit apparaît comme systémique. Il accepte ou ignore certains risques, et en paye parfois le prix.

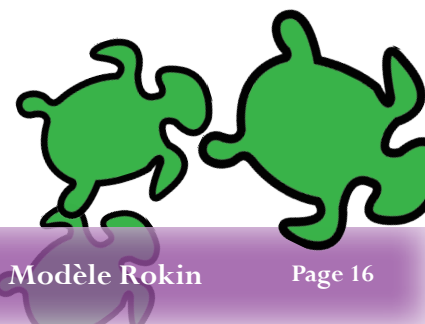
Nos zones turbides, programmées dans Netlogo, symbolisent bien des conditions défavorables à la baignade, qu'il faut connaître.

N'en déplaise aux surfeurs, qui connaissent ces dangers mais les prennent parfois, notamment quand *les vagues sont belles*, ces points plaident en faveur des anciens réunionnais, qui expliquent que la baignade n'a jamais été conseillée sur l'île, et que leurs ancêtres, s'ils péchaient, ne se baignaient jamais en mer.

Soit une culture du risque malheureusement oubliée, comme cela arrive souvent dans les sociétés ayant connues d'importantes mutations en de courts laps de temps.

Des zoreils* aux locaux, la transmission de cette culture ne s'est pas faite. Les *blancs* ayant dominé le système économique de l'île, les populations locales ont peut-être perdu certains pans de leur culture de la mer.

* En créole réunionnais, « zoreil » désigne une personne originaire de la métropole et vivant à la Réunion.



INDEX

Pourquoi le modèle Rokin ?.....	2
Paramètres.....	4
Simplifier La Réalité.....	4
Les Agents.....	6
Le modèle de référence.....	7
Correspondre à la réalité.....	7
Un modèle de référence.....	8
Responsabilités.....	9
Premières comparaisons.....	9
Culpabilité(s).....	13
Rapports de force.....	14
Culture du risque.....	16
Index.....	17

