

Mededelingen der Zittingen Bulletin des Séances

CONTENTS

Scientific Papers

Section of Human Sciences:

J. MAY. — 21st Century will be the Century of African Demography.....	9
E. De Clercq. — The Indian Epics and the Jains	19
S. VANWAMBEKE. — Pathogens in an Anthropized World: A Geographical Perspective on Zoonotic and Vector-borne Diseases.....	31

Section of Natural and Medical Sciences:

J. VANDEMOORTELE. — Are the SDGs (Sustainable Development Goals) Fit for Purpose?	47
T. T. H. NGO <i>et al.</i> — Clam Farming Risks in Thai Binh Province, Vietnam: Impacts and Causes.....	57

Section of Technical Sciences:

C. BAUDUIN. — Behaviour and Geotechnical Risks of some Problematic Soils in Semi-arid Areas.....	83
L. ROCHETTE. — Environment within Belgian Development Cooperation (Summary)	111

In memoriam

Joseph MEYER	117
Jacques DENIS.....	121
Félix Malu wa KALENGA.....	127

62 (1-2016) — MEDEDELINGEN KAOW – BULLETIN ARSOM

Koninklijke Academie
voor Overzeese Wetenschappen

Onder de Hoge Bescherming van de Koning

Académie Royale
des Sciences d'Outre-Mer

Sous la Haute Protection du Roi

ISSN 0001-4176

62 (1)

2016

BERICHT AAN DE AUTEURS

De Academie geeft de studies uit waarvan de wetenschappelijke waarde door de betrokken Klasse erkend werd.

De teksten door de Academie gepubliceerd verbinden slechts de verantwoordelijkheid van hun auteurs.

AVIS AUX AUTEURS

L'Académie publie les études dont la valeur scientifique a été reconnue par la Classe intéressée.

Les textes publiés par l'Académie n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

INHOUDSTAFEL — TABLE DES MATIÈRES

Wetenschappelijke mededelingen
Communications scientifiques

<i>Klasse voor Menswetenschappen / Classe des Sciences humaines:</i>	
J. MAY. — Le XXI ^e siècle sera celui de la démographie africaine.....	9
E. DE CLERCQ. — De Indische epen en de Jains	19
S. VANWAMBEKE. — Pathogens in an Anthropized World: A Geographical Perspective on Zoonotic and Vector-borne Diseases	31
<i>Klasse voor Natuur- en Geneeskundige Wetenschappen / Classe des Sciences naturelles et médicales:</i>	
J. VANDEMOORTELE. — Are the SDGs (Sustainable Development Goals) Fit for Purpose?	47
T. T. H. NGO <i>et al.</i> — Clam Farming Risks in Thai Binh Province, Vietnam: Impacts and Causes.....	57
<i>Klasse voor Technische Wetenschappen / Classe des Sciences techniques:</i>	
C. BAUDUIN. — Behaviour and Geotechnical Risks of some Problematic Soils in Semi-arid Areas.....	83
L. ROCHETTE. — Het leefmilieu in de Belgische ontwikkelingssamenwerking (samenvatting)	111
<i>In memoriam</i>	
Joseph MEYER	117
Jacques DENIS.....	121
Félix Malu wa KALENGA.....	127

© Royal Academy for Overseas Sciences. All rights reserved.

Abonnement 2016: 70,00 €

Ringlaan 3
B-1180 Brussel (België)

Avenue Circulaire 3
B-1180 Bruxelles (Belgique)



Mededelingen der Zittingen Bulletin des Séances

Koninklijke Academie
voor Overzeese Wetenschappen

Onder de Hoge Bescherming van de Koning

Académie Royale
des Sciences d'Outre-Mer

Sous la Haute Protection du Roi

WETENSCHAPPELIJKE MEDEDELINGEN

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Klasse voor Menswetenschappen

Classe des Sciences humaines

Le XXI^e siècle sera celui de la démographie africaine*

par

John MAY**

Introduction

À la mi-2015, la population mondiale était estimée à sept milliards trois cent trente-six millions de personnes. Son taux annuel de croissance était de 1,2 % par an (Population Reference Bureau 2015), en diminution par rapport aux taux de croissance élevés (environ 2 %) des années 1960 et 1970.

Le tableau 1 présente la population du monde et celle de ses principales régions géographiques pour l'année 2015, ainsi que les populations projetées en 2030, 2050 et 2100.

L'Asie est de loin le continent le plus peuplé, avec près de 60 % de la population mondiale à la mi-2015. À la même date, l'Afrique dans sa totalité représentait un peu plus d'un milliard de personnes et l'Afrique subsaharienne un peu moins d'un milliard (soit respectivement 16 et 13 % de la population mondiale; *cf.* tab. 1).

D'ici à 2050, toutes les régions du monde, sauf l'Europe, connaîtront une augmentation de leur population. Entre 2050 et 2100, cependant, plusieurs régions verront leur population diminuer: l'Europe, bien entendu, qui poursuivra sa décroissance démographique, mais aussi l'Asie, l'Amérique latine et les Caraïbes.

C'est l'Afrique, et surtout l'Afrique subsaharienne, qui connaîtra la croissance démographique la plus forte. Entre 2015 et 2100, la population de l'Afrique subsaharienne pourrait quasi quadrupler et représenter 35 % de la population mondiale à la fin du siècle. La population de l'Afrique dans sa totalité représenterait alors 39 % de la population mondiale (*cf.* tab. 1).

* Communication présentée à la séance académique d'ouverture tenue le 17 octobre 2015. Texte reçu le 15 mars 2016, soumis à *peer-review*. Version définitive, approuvée par les *reviewers*, reçue le 5 juillet 2016.

** Visiting scholar Population Reference Bureau, 1875 Connecticut Ave., NW, Suite 520, Washington, DC 20009-5728 (USA).

Tableau 1
Population du monde et de ses principales régions en 2015, 2030, 2050 et 2100

Principales régions	Population (millions)			
	2015	2030	2050	2100
Monde	7 336	8 505	9 804	11 213
Afrique	1 171	1 658	2 473	4 387
Afrique subsaharienne	949	1 369	2 081	3 935
Asie	4 397	4 939	5 324	4 889
Europe	742	744	728	646
Amérique latine et Caraïbes	630	716	776	721
Amérique du Nord	357	401	445	500
Océanie	40	48	59	71

Sources: pour les populations en 2015, 2030 et 2050, voir Population Reference Bureau (2015). Pour les populations en 2100, voir Nations Unies (2015).

Démographie de l'Afrique: de la stagnation à l'explosion

La croissance démographique actuelle de l'Afrique, et surtout de l'Afrique subsaharienne, est un phénomène relativement récent. Sur quatre siècles, entre 1500 et 1900, la population avait déjà augmenté considérablement dans toutes les régions du monde, sauf en Afrique où elle a probablement stagné (GUENGANT & MAY 2011, p. 307). Durant ces quatre cents ans, la population de l'ensemble formé par la Chine, les deux Corées et l'Europe (y compris la Russie) a quintuplé, celle de l'ensemble Inde, Pakistan et Bangladesh a triplé et celle de l'Amérique latine et des Caraïbes a doublé.

Pendant ce temps, en revanche, l'Afrique, qui subit alors la ponction de la traite esclavagiste transatlantique, ne connaît pas d'augmentation significative de sa population. Estimée à quatre-vingts millions de personnes en 1500, cette population serait passée à nonante-cinq millions en 1900. La part de la population de l'Afrique subsaharienne dans la population mondiale serait ainsi passée de 17 % en 1500 à seulement 7 % en 1900. Cependant, certains auteurs estiment que la population de l'Afrique aurait en fait décliné pendant cette période. Cette évolution démographique est donc toujours matière à discussion, notamment en ce qui concerne les effets démographiques de la traite esclavagiste. À la lumière de cette évolution, il semble néanmoins que l'on puisse confirmer le sous-peuplement relatif du continent africain durant cette période (GUENGANT & MAY 2011, pp. 307-308).

Le XX^e siècle a vu l'explosion démographique mondiale, mais il a été aussi le siècle de la révolution contraceptive et de la maîtrise progressive des niveaux

élevés de fécondité à peu près partout dans le monde, sauf en Afrique subsaharienne. Entre 1900 et 2000, la population de toutes les régions du monde a augmenté encore plus rapidement que durant la période 1500-1900. Durant le XX^e siècle, la population de l'Europe a été multipliée par deux, celle de la Chine par trois et celle de l'ensemble Inde, Pakistan et Bangladesh par cinq. Les populations de l'Amérique latine et des Caraïbes ainsi que de l'Afrique connaissent une croissance encore plus rapide et se sont multipliées par sept sur un siècle (GUENGANT & MAY 2011, p. 308).

Durant le XXI^e siècle, enfin, la croissance démographique de l'Afrique, surtout subsaharienne, sera encore plus forte, cette fois en nombre de personnes et non plus en termes de facteur multiplicatif. De 1,2 milliard de personnes en 2015, la population de l'Afrique pourrait passer à 2,5 milliards en 2050 (Population Reference Bureau 2015) et même atteindre 4,4 milliards en 2100, selon les projections des Nations Unies, hypothèse moyenne de fécondité (Nations Unies 2015; cf. aussi tab. 1). Comme déjà mentionné, la population de l'Afrique représenterait alors 39 % de la population mondiale. C'est surtout la partie subsaharienne du continent africain qui pèsera dans cette évolution. À elle seule, on l'a vu, la population subsaharienne pourrait être multipliée quasiment par quatre au cours du XXI^e siècle et représenter 35 % de la population mondiale en 2100. Trois sous-régions en particulier, l'Afrique de l'Ouest, de l'Est et centrale, alimenteront cette croissance démographique très rapide. L'Afrique australe, en revanche, a connu un processus plus précoce de transition démographique.

Cependant, il convient de souligner la forte diversité des situations démographiques des différents pays africains. L'Afrique subsaharienne est composée de quarante-huit pays souverains, lesquels se trouvent tous à des stades divers de leur évolution démographique. Ils ont en outre des histoires économiques et sociales particulières. Il est toutefois possible de proposer une lecture globale de ces évolutions et de dégager les grandes lignes des trajectoires démographiques des pays subsahariens et de leurs causes.

La transition démographique en Afrique subsaharienne

Les fortes croissances démographiques que l'on observe en Afrique subsaharienne et dans le reste du monde résultent de la transition démographique, soit le passage de niveaux élevés de mortalité et de fécondité, en équilibre, à des niveaux faibles de mortalité et de fécondité, atteignant un nouvel équilibre. Durant ce processus, la population s'accroît, plus ou moins rapidement selon l'ampleur de la baisse de la mortalité, d'une part, et le retard relatif de la baisse de la fécondité, de l'autre. En effet, on observe généralement un laps de temps plus ou moins long entre la baisse de la mortalité et celle de la fécondité.

À la fin du XX^e et au début du XXI^e siècle, l'Afrique subsaharienne se caractérise par une mortalité, surtout infantile et juvénile (respectivement avant un et

cinq ans), en baisse rapide. En revanche, la fécondité y connaît un fléchissement beaucoup plus lent. Si le mouvement concernant la mortalité a été rapide, on assiste au contraire à une lente érosion des niveaux élevés de fécondité, souvent accompagnée de stagnations plus ou moins longues dans cette baisse.

À nouveau, il faut souligner l'hétérogénéité des situations à travers le continent. Il n'empêche que durant les trente dernières années, l'Afrique subsaharienne a connu dans l'ensemble une amélioration significative des conditions de mortalité, et ce, malgré les guerres, les crises politiques, la détérioration des services de santé et les troubles sociaux dans nombre de pays. En outre, plusieurs pays, en Afrique australe essentiellement, ont été frappés par de sévères épidémies de VIH/sida mais ont connu aussi des transitions démographiques plus précoces que dans le reste de l'Afrique subsaharienne. Au total, l'espérance de vie pour les deux sexes a progressé en Afrique subsaharienne et est passée de quarante-quatre ans en 1970 à cinquante-sept en 2013 (elle était en 2013 de septante et un ans pour les deux sexes, pour l'ensemble du monde; *cf.* Population Reference Bureau 2014). Tout semble indiquer que les niveaux de mortalité, qui sont encore très élevés, devraient continuer à baisser dans le continent (ce qui augmentera inévitablement la croissance démographique). Cependant, il convient de garder à l'esprit que les estimations de baisse de la mortalité, surtout infantile et juvénile, pourraient avoir été surévaluées dans les enquêtes démographiques.

En revanche, la baisse de l'indice synthétique de fécondité (ISF), soit le nombre moyen d'enfants par femme, a été beaucoup plus lente en Afrique subsaharienne. L'ISF est estimé actuellement à cinq enfants par femme en moyenne (il est de 2,5 pour l'ensemble du monde; *cf.* Population Reference Bureau 2015). En 1970, l'ISF pour toute l'Afrique subsaharienne était de 6,7 enfants par femme (Population Reference Bureau 2014).

En 2015, le taux de prévalence contraceptive moderne (pour les méthodes modernes) est estimé à 25 % des femmes au sud du Sahara (Population Reference Bureau 2015). On observe une corrélation forte entre le niveau de fécondité et le niveau d'utilisation de la contraception, surtout moderne. Les femmes africaines souhaitent toujours avoir beaucoup d'enfants, utilisent peu la contraception moderne et sont en outre désavantagées à cause de leur niveau relativement faible d'instruction et de leur faible pouvoir de décision en matière de reproduction (GUENGANT 2017).

Au double mouvement de baisse de la mortalité et de la fécondité, il faut encore ajouter l'effet des structures par âge, lesquelles sont très jeunes en Afrique subsaharienne. Le nombre de jeunes en âge d'avoir à leur tour des enfants est très élevé. Même en supposant que ces jeunes aient moins d'enfants que leurs parents, le nombre total de naissances sera encore très important. Ce «momentum de population» ou élan démographique expliquera, lui aussi, une bonne part de la croissance future de la population de l'Afrique.

Durant la transition démographique, les structures par âge (les pyramides des âges) changent de forme. Grâce à la baisse de fécondité, la base des pyramides

a tendance à se rectangulariser car moins de jeunes entrent dans la pyramide des âges par la base. Le nombre d'adultes actifs, quant à lui, augmente de manière relative. Ces adultes ont alors moins de jeunes dépendants (en dessous de quinze ou de vingt ans). On reviendra sur cette question en évoquant le concept du dividende démographique.

En outre, les populations subsahariennes connaîtront des mouvements migratoires, notamment des villes vers les campagnes, ce qui amènera une urbanisation plus rapide. En 2015, 38 % de la population de l'Afrique subsaharienne était urbanisée (Population Reference Bureau 2015), mais il faut tenir compte des grandes différences entre pays dans les définitions du milieu urbain. Les grandes mégapoles subsahariennes comme Lagos, Kinshasa, Dar es-Salaam, Luanda et Nairobi, où l'on observe déjà la prolifération de bidonvilles, continueront à croître.

Si la population de l'Afrique subsaharienne ira en se densifiant fortement au cours du XXI^e siècle (la densité de population y était de quarante et une personnes au kilomètre carré à la mi-2014; *cf.* Population Reference Bureau 2014), on peut s'attendre à une pression accrue des migrations internationales entre les différents pays africains. Pour le moment, cependant, les mouvements migratoires émanant de l'Afrique à destination d'un autre continent (essentiellement l'Europe) sont encore relativement modestes. On peut toutefois imaginer que ces flux migratoires iront en s'accroissant dans les prochaines décennies, surtout en direction de l'Europe occidentale via l'Afrique du Nord.

À la recherche d'un dividende démographique

Plus que le nombre de personnes ou la question des densités de population, c'est la structure par âge qui est le facteur déterminant en démographie économique, à savoir le rapport entre adultes actifs et enfants dépendants (en dessous de quinze ou de vingt ans). C'est ce qu'on appelle le taux de dépendance économique (les dépendants par rapport aux adultes qui travaillent). Ce sont ces jeunes dépendants dont il faut assurer la formation en capital humain (éducation et santé) et surtout l'accès à l'emploi. Suite à la baisse de la fécondité (qui est la dernière étape de la transition démographique), le changement de la structure par âge ouvre une fenêtre d'opportunité démographique. Cette dernière permet alors de capter éventuellement les bénéfices d'un premier dividende démographique, moyennant la mise en place de politiques adéquates.

Le premier dividende démographique se présente lorsque le nombre d'adultes qui travaillent augmente de manière relative dans la population, suite à la baisse de la fécondité. Les travailleurs plus nombreux ont alors moins de jeunes dépendants et n'ont pas encore à supporter le poids des dépendants plus âgés (soixante-cinq ans et plus). Cette situation permet d'investir davantage sur les jeunes dépendants en matière d'éducation et de santé, ce qui augmente à terme leur

productivité. Par la suite, les pays peuvent capter un premier dividende démographique grâce à des politiques économiques et sociales judicieuses. La fenêtre d'opportunité démographique est ouverte sur une période de quarante à cinquante ans (MAY 2012, pp. 50-52). Mais il faut aussi savoir que ce premier dividende (ou bonus) démographique peut se transformer en malus démographique si les conditions ne sont pas réunies et si des politiques adéquates, notamment celles concernant la bonne gouvernance, ne sont pas mises en place (GRIBBLE & BREMER 2012, p. 3). Après le premier dividende démographique, un second dividende démographique peut être obtenu quand les adultes bénéficiaires du premier profitent des fruits de leurs investissements (par exemple, leur épargne et leurs placements financiers; MAY 2012, pp. 50-52).

Les implications des évolutions démographiques seront cruciales pour le développement socioéconomique de l'Afrique subsaharienne. Les pays de la région souhaitent se développer plus rapidement sur les plans économique et social et accéder eux aussi au statut de pays dits émergents (c'est-à-dire des économies de marché émergentes). Pour ce faire, il faudra cependant accélérer la baisse de la fécondité et rectangulariser la base de la pyramide des âges. C'est en effet la baisse de fécondité qui est l'une des conditions nécessaires pour que l'Afrique puisse capter à son tour, après l'Asie de l'Est, un premier dividende démographique. Les données empiriques concernant les pays dits émergents démontrent en effet que tous ces pays ont atteint des niveaux de fécondité de trois enfants par femme ou moins (GUENGANT 2015). Il faut rappeler que le niveau de fécondité de l'Afrique subsaharienne dans son ensemble est actuellement de cinq enfants par femme (Population Reference Bureau 2015).

Une baisse plus rapide de la fécondité nécessitera que l'Afrique subsaharienne réalise à son tour, après toutes les autres régions du monde, sa révolution contraceptive. Celle-ci est définie par l'augmentation rapide des niveaux d'utilisation de la contraception moderne, jusqu'à un niveau d'au moins 70 % des couples en âge de procréer. Seul un tel niveau permet une véritable maîtrise de la fécondité, qui atteindra alors un niveau proche de celui nécessaire au remplacement des générations (soit environ 2,1 enfants par femme, chiffre qui varie en fonction des conditions de mortalité).

Actuellement, on l'a vu, 25 % seulement des femmes subsahariennes utilisent une méthode moderne de contraception; le taux de prévalence contraceptive (pourcentage de femmes en âge de procréer utilisant une méthode) est donc assez faible. Même en tablant sur une augmentation du taux de prévalence contraceptive (méthodes modernes) de l'ordre de 1,5 point de pourcentage par an, le chemin est encore long pour arriver à une maîtrise complète de la fécondité. Cette augmentation de 1,5 point de pourcentage par an est nécessaire non seulement pour continuer à servir les utilisatrices actuelles de méthodes contraceptives, mais aussi pour recruter de nouvelles «acceptrices» afin d'augmenter la couverture contraceptive (GUENGANT 2014).

Le défi est d'autant plus grand en Afrique subsaharienne que les couples expriment le plus souvent un souhait ou un désir important d'enfants, ce qu'on observe dans les enquêtes de démographie et de santé. Une des raisons en est que la mortalité infantile et juvénile est encore très élevée et que les parents ont beaucoup d'enfants car ils craignent d'en perdre plusieurs. Par ailleurs, les femmes du continent ont également moins de liberté que leurs consœurs d'Asie ou d'Amérique latine et des Caraïbes pour décider elles-mêmes du nombre de leurs enfants et de la taille finale de leur famille. Elles sont aussi moins instruites, facteur connu pour freiner le recours à la contraception moderne. Les femmes d'Afrique subsaharienne souffrent souvent d'un double déni: déni d'information sur la contraception et déni quant à son utilisation, à cause d'un accès difficile aux services et de problèmes logistiques dans la mise en œuvre des programmes de planification familiale.

Quant aux gouvernements de la région subsaharienne, ils ont très souvent été réticents à lancer de vastes programmes de planification familiale. Beaucoup de dirigeants africains estiment encore que leur continent est sous-peuplé et que les pays puissants sur le plan économique, comme la Chine, le sont grâce à leur grande population. Ils oublient que la Chine a mis sur pied un programme drastique de baisse de la fécondité, lequel a, au demeurant, facilité l'essor économique du pays. En outre, les dirigeants africains craignent le vieillissement de la population, qu'illustre à leurs yeux la situation de l'Europe. Quand ces dirigeants se rangent timidement à la nécessité de faire baisser la fécondité dans leur pays, ils proposent de le faire de manière graduelle, à un rythme beaucoup plus lent que ce qui a été généralement observé dans les pays dits émergents (MAY 2017).

Il y a donc un énorme travail à accomplir pour convaincre les leaders politiques africains, changer les normes sociales concernant la reproduction, offrir des services de qualité en planification familiale et mettre en place les autres interventions (éducation, emploi, réformes légales, etc.) qui faciliteront le changement des normes et l'adoption de la contraception moderne et permettront dès lors d'accélérer la transition démographique dans le continent.

Agir sur les évolutions démographiques

L'expérience des autres régions du monde démontre que des politiques publiques bien conçues et mises en œuvre avec détermination peuvent changer les trajectoires démographiques futures des pays. En effet, il est possible d'intervenir sur les évolutions démographiques avec un certain degré d'efficacité et tout en respectant les droits de l'homme (MAY 2013, p. 8). L'expérience des pays asiatiques, latino-américains et caribéens le démontre amplement, même si certains pays (Chine et Inde en particulier) ont en leur temps mis en place des politiques de réduction de la fécondité autoritaires et peu conformes aux droits de l'homme.

Pour agir sur les évolutions démographiques, il faudra cependant mettre en place des politiques de population bien plus efficaces que celles conçues par le passé. Cela doit commencer par une meilleure création de la demande pour une fécondité plus faible: l'éducation des femmes, surtout au niveau secondaire; l'accès à l'emploi rémunéré pour les femmes; l'amélioration de leur statut (*empowerment*); et la sensibilisation des hommes, comme par exemple le projet «École des maris» au Niger, pour les responsabiliser quant à la planification familiale et aux dangers des mariages précoces.

Par ailleurs, il faudra renforcer l'offre des services de contraception. Cela impliquera d'améliorer le réseau des agents de santé et le maillage des pays en services de qualité, de prévoir des campagnes de communication massives, persistantes et répétées et de diffuser de nouvelles normes et modèles sociaux (*role models*) au moyen des médias, des radios, des *soap operas* ou encore des séries télévisées (comme cela a été fait avec succès avec les *telenovelas* au Brésil). L'Éthiopie, par exemple, a déployé plus de trente-cinq mille agents de santé supplémentaires, les fameux *Health Extension Workers*, dont l'une des tâches est justement de promouvoir l'utilisation de la contraception au moyen de visites répétées à domicile (ADMASSIE *et al.* 2015, p. 5).

Enfin, et ceci est capital, il faudra également renforcer l'engagement politique. Il s'agira d'être beaucoup plus didactique pour expliquer les enjeux démographiques, bref de combattre «l'analphabétisme démographique» et de persuader les leaders africains, surtout en Afrique de l'Ouest et en Afrique francophone, de l'importance des enjeux démographiques. Il faut invoquer ici le concept de «démographie publique», à savoir une analyse démographique dont les résultats sont réellement mis au service de la recherche du bien commun (MAY 2012, pp. 275-276).

Ces dernières années, les bailleurs internationaux sont redevenus plus conscients de ces enjeux majeurs. En 2012, le Sommet de Londres sur la planification familiale, réuni sous les auspices de la Fondation Bill & Melinda Gates et de l'aide bilatérale anglaise, avec d'autres partenaires, a proposé de relancer les efforts internationaux en matière de planification familiale. Il s'agit, entre 2012 et 2020, de servir cent vingt millions de couples sur les deux cent vingt-deux millions qui expriment aujourd'hui des besoins non satisfaits en planification familiale, et ce, dans soixante-neuf pays prioritaires. À l'échelon de l'Afrique de l'Ouest, le Partenariat de Ouagadougou, lancé en 2011, couvre neuf pays de la sous-région et a déjà obtenu des résultats probants.

Au total, c'est par des actions multisectorielles et en intervenant sur plusieurs registres à la fois que l'on pourra espérer accélérer la transition démographique et surtout la transition de fécondité en Afrique subsaharienne. Il conviendra d'être beaucoup plus novateur que par le passé. Le tout-planning familial est seulement une partie de la solution. Il faudra coupler les interventions en matière de planification familiale avec des interventions ciblées sur les femmes, leur éducation, leur autonomie, leur accès à l'emploi rémunéré et leur pouvoir de

décision en matière de reproduction. Une piste prometteuse pour l'avenir serait d'avoir recours à des mécanismes de transferts conditionnels de ressources (en faveur des parents) moyennant l'obtention de certains objectifs (garder les jeunes filles à l'école, retarder l'âge de leur entrée en union, etc.). C'est donc à un véritable changement de paradigme qu'il faut s'atteler dès à présent si l'on souhaite que l'Afrique subsaharienne s'engage à son tour sur la voie de l'émergence économique et sociale.

Conclusion

L'Afrique a connu d'abord une stagnation de sa population entre 1500 et 1900, puis une croissance très rapide au XX^e siècle (multiplication de l'effectif par sept). La situation du siècle dernier est sans doute le prélude à une croissance démographique encore plus importante de l'Afrique au XXI^e siècle (multiplication projetée de l'effectif par quatre, en partant d'une base beaucoup plus large).

À ce stade, l'Afrique doit tout d'abord assumer l'héritage du passé, c'est-à-dire tenir compte du résultat de la forte croissance démographique des dernières décennies. Les jeunes déjà nés auront besoin de services d'éducation et de santé. Comme ils sont déjà présents sur le marché du travail, ils auront aussi et surtout besoin d'emplois. Le Fonds monétaire international prévoit que l'Afrique devra créer quatre cent cinquante millions de nouveaux emplois entre 2010 et 2035, soit dix-huit millions d'emplois par an, alors que le secteur formel y absorbe déjà très peu de travailleurs (Fonds monétaire international 2015, p. 35). En outre, l'Afrique devra aussi arriver à maîtriser sa croissance démographique afin de préparer l'avenir. En effet, l'un des grands défis des dirigeants africains sera de créer des emplois supplémentaires pour le surplus de jeunesse à venir.

Pour arriver à des niveaux maîtrisés de fécondité, le continent devra impulser sa révolution contraceptive. Cela lui permettra d'arriver à des niveaux de fécondité de trois enfants par femme ou moins. On a déjà souligné que tous les pays dits émergents ont atteint de tels niveaux de fécondité (GUENGANT 2015). Les facteurs clés qui permettront d'impulser cette révolution contraceptive seront l'offre accrue de services de planification familiale, le changement des normes sociales régissant la reproduction et surtout l'éducation des jeunes filles et l'amélioration du statut des femmes.

Pour conclure, il convient de souligner qu'il est crucial et urgent d'agir sur les évolutions démographiques de l'Afrique subsaharienne afin de favoriser son développement économique et social ainsi que son insertion dans l'économie-monde. Les évolutions démographiques de l'Afrique subsaharienne pèseront surtout sur l'avenir du continent lui-même. Cependant, les implications de la démographie africaine ne seront pas cantonnées à la seule région Afrique. Elles auront aussi des répercussions sur l'ensemble de l'humanité. Tout cela corrobore l'assertion initiale de cet essai, à savoir que le XXI^e siècle sera celui de la démographie africaine.

BIBLIOGRAPHIE

- ADMASIE, A., SEID, N. A., MAY, J. F., MEGQUIER, S. & MORELAND, S. 2015. The Demographic Dividend: An Opportunity for Ethiopia's Transformation. — Washington, DC, Population Reference Bureau & Ethiopian Economics Association.
- Fonds monétaire international 2015. Regional Economic Outlook: Sub-Saharan Africa. Navigating Headwinds. — Washington, DC, Fonds monétaire international.
- GRIBBLE, J. N. & BREMNER, J. 2012. Achieving a demographic dividend. — *Population Bulletin*, **67** (2).
- GUENGANT, J.-P. 2014. Comment bénéficier du dividende démographique? Replacer la population au centre des trajectoires de développement de la Côte d'Ivoire. — Paris, Agence française de développement.
- GUENGANT, J.-P. 2015. La révolution contraceptive: une prospective démographique pour les pays du Partenariat de Ouagadougou. — Cotonou, Partenariat de Ouagadougou.
- GUENGANT, J.-P. 2017. Africa's population: History, current status, and projections. — In: GROTH, H. & MAY, J. F. (éds), *Africa's Population: In Search of a Demographic Dividend*. New York, Springer, pp. 11-31.
- GUENGANT, J.-P. & MAY, J. F. 2011. L'Afrique subsaharienne dans la démographie mondiale. — *Études*, **415**: 305-316.
- MAY, J. F. 2012. *World Population Policies: Their Origin, Evolution, and Impact*. — New York, Springer, xvii + 339 pp.
- MAY, J. F. 2013. Agir sur les évolutions démographiques. — Bruxelles, Académie royale de Belgique, *L'Académie en Poche*, 144 pp.
- MAY, J. F. 2017. The politics of family planning policies and programs in sub-Saharan Africa. — *Population and Development Review*, **43** (suppl. S1): 308-329.
- Nations Unies 2015. *World Population Prospects: The 2015 Revision*. — New York, Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population.
- Population Reference Bureau 2014. 2014 World Population Data Sheet. — Washington, DC, Population Reference Bureau.
- Population Reference Bureau 2015. 2015 World Population Data Sheet. — Washington, DC, Population Reference Bureau.

De Indische epen en de Jains*

door

Eva DE CLERCQ**

TREFWOORDEN. — Indische religies; Jainisme; Sanskrit; Indische literatuur.

SAMENVATTING. — Traditionele verhalen, de normen en waarden die zij vertegenwoordigen in de daden van hun protagonisten, spelen tot op de dag van vandaag een belangrijke rol in het maatschappelijke leven van Zuid-Azië. Zo stond Rāma, de held uit het Sanskrit epos *Rāmāyaṇa*, model voor de ideale politieke leider. Ook de wapenfeiten uit het andere epos, *Mahābhārata*, vormen een bron van inspiratie voor velen. Kenmerkend aan deze epen is dat doorheen de geschiedenis auteurs van diverse achtergronden er eigen versies van zijn gaan scheppen, aangepast aan hun eigen publiek. Zo ook dichters die het jainisme aanhangen, een religieuze traditie waarin het ideaal van de geweldloze, rondzwervende asceet centraal staat. Dit artikel bespreekt hoe de Jains deze epen benaderden.

MOTS-CLÉS. — Religions hindoues; Jaïnisme; Sanskrit; Littérature indienne.

RÉSUMÉ. — *Les épopées indiennes et les Jaïns*. — Les récits traditionnels, et les valeurs représentées par les actions de leurs protagonistes, jouent aujourd'hui encore un rôle important dans la vie sociale de l'Asie du Sud. Ainsi Rāma, héros de l'épopée sanscrite du *Rāmāyaṇa*, était le modèle du chef politique idéal. De même les actions du *Mahābhārata*, la seconde épopée indienne, sont une source d'inspiration pour beaucoup. L'une des caractéristiques remarquables de cette littérature épique réside dans le fait que des auteurs appartenant à des traditions différentes ont créé leur propre version du texte afin de l'adapter aux valeurs de leurs auditoires spécifiques. C'est dans cette dynamique que se placent les poètes qui adhèrent au jaïnisme, une tradition religieuse dans laquelle l'idéal de l'ascète non violent et errant est central. Cet article expose la façon dont les Jaïns ont approché ces épopées.

KEYWORDS. — Indian Religions; Jainism; Sanskrit; Indian Literature.

SUMMARY. — *The Indian Epics and the Jains*. — Traditional stories, and the values they represent in the actions of their protagonists, continue to play an important role in the daily life in South Asia. Rāma, the hero of the Sanskrit epic *Rāmāyaṇa*, became the ideal political leader. Similarly, the heroics described in the other Indian epic, *Mahābhārata*, have become an inspiration for many. Characteristic of these epics is the fact that throughout history authors from different backgrounds created their own version of these stories, adapted to their specific audiences. This is also the case for authors who follow jainism, a religious tradition focussing on the ideal of the non-violent, wandering ascetic. This paper explains how the Jains approached these epics.

* Mededeling voorgesteld tijdens de zitting van de Klasse voor Menswetenschappen van 17 november 2015. Tekst ontvangen op 7 januari 2016 en aan *peer review* voorgelegd. Definitieve versie, goedgekeurd door de *reviewers*, ontvangen op 7 oktober 2016.

** Indische talen en culturen, Universiteit Gent, Blandijnberg 2, B-9000 Gent (België).

*
* *

Het jainisme is een religie die ontstond ergens tussen de negende en zesde eeuw voor onze tijdrekening in de Gangesvlakte in het oosten van het Zuidaziatische subcontinent. Net als in vele andere Indische religies staat bij de Jains het geloof in een oneindige cyclus van wedergeboorte (*samsāra*) onder invloed van karma, de retributie van daden, centraal. Ontsnappen aan deze transmigratie impliceert dat men zich ontdoet van alle karma. Hiertoe is enkel de Jain asceet of non in staat, die in een geboorte als mens de vijf Grote Geloften (*mahāvratā*) handhaaft, met name absolute geweldloosheid (*ahiṃsā*), waarachtigheid (*satya*), het zich onthouden van stelen (*asteya*), een celibatair leven (*brahmacarya*) en bezitsloosheid (*aparigraha*), en aan de hand van intense meditatieve praktijken onthechting van de materiële wereld en uiteindelijk de „verlossing” (*mokṣa*) nastreeft [1]*. Deze Jain asceten en nonnen kennen een zwervend bestaan en zijn voor hun onderdak en levensonderhoud volkomen afhankelijk van de aalmoezen van de Jain lekengemeenschap. In de eeuwen na zijn ontstaan verspreidde het jainisme zich geleidelijk naar het westen en het zuiden van het subcontinent. Vandaag de dag vinden we Jain gemeenschappen vooral in het westen van India (de deelstaten Rajasthan en Gujarat), in de zuidelijk deelstaat Karnataka, en in alle grootsteden in India. Daarnaast zijn Jains talrijk in de Indiase diaspora. De Jain gemeenschap omvat twee grote strekkingen: *śvetāmbara*, letterlijk „zij die gehuld zijn in wit”, waarvan de asceten witte gewaden dragen, enerzijds, en *digambara*, letterlijk „zij die gehuld zijn in lucht”, waarvan de mannelijke asceten naakt lopen [2]. De Jain doctrine was van oudsher succesvol bij handelaarskasten, en ook nu worden de meeste Jains geboren in relatief welvarende families van handelaars en bankiers, en kennen zij een relatief hoge graad van ontwikkeling. Ondanks het feit dat zij slechts 0,37 % van de Indiase bevolking uitmaken (Census of India 2011), zijn zij, nu en in het verleden, toch van aanzienlijke invloed op de maatschappij, omwille van hun aandeel in de economie en hun bijdrage aan het politieke en culturele leven [3].

Minderheid versus meerderheid

Ook in het verleden was het jainisme meestal de religie van een numerieke minderheid. Jains leefden zij aan zij met volgelingen van andere ideologieën, zoals boeddhisme en de verschillende vormen van hindoeïsme. Vanaf ongeveer de tiende eeuw werd ook de islam een belangrijke speler in het religieuze landschap waarin de Jains vertoefden. De Jains kozen ervoor om de confrontatie met deze andere religies niet uit de weg te gaan. Enerzijds trachtten zij zichzelf te

* De cijfers tussen haakjes [] verwijzen naar de noten, blz. 27-28.

onderscheiden van de „anderen” door zich kritisch op te stellen en zich af te zetten tegen bepaalde ideeën en praktijken. In een vroege fase verwierpen zij bijvoorbeeld expliciet de sociale ongelijkheid van het kastenstelsel van het brahmaanse hindoeïsme en het offeren van dieren in een aantal hindoe stromingen [4]. In andere gevallen kozen de Jains voor een andere strategie, en absorbeerden zij facetten van het ideeëngoed van die „anderen”.

De religie van de historische meerderheid van de bevolking van het subcontinent, de hindoe tradities, maakte vanzelfsprekend eveneens aanzienlijke evoluties door. Van bijzonder belang hierbij is de ontwikkeling van het vaishnavisme, shaivism en shaktisme, de drie naast elkaar bestaande, theïstische tradities rond respectievelijk Viṣṇu, Śiva en de godin. Deze goden waren reeds aanwezig in het vedisme, de voorloper van het hindoeïsme, als ondergeschikte goden aan de toen dominante Indra. Geleidelijk aan wonnen zij aan invloed en belang, tot zij uiteindelijk de vedische goden gingen overstijgen en vervangen [5]. Jains hadden bijzonder veel interactie met het vaishnavisme. Volgens de *avatāra* doctrine besloot de god Viṣṇu op verzoek van de andere goden om, telkens wanneer de aarde geteisterd wordt door een demon of andere booswicht, zich te incarneren op aarde en in die incarnaties het kwade te bevechten. Van de doorgaans tien *avatāra*’s van Viṣṇu die door vaishnava hindoes aanbeden worden, zijn er twee dominant, Krishna [6] en Rāma. Na verloop van tijd kwamen deze twee goden los van hun identiteit als *avatāra* van Viṣṇu, en ging men ze beschouwen en vereren als op zichzelf staande godheden. De verhalen achterliggend aan hun cultussen vinden we terug in de zogenaamde Indische epen. Het verhaal van Krishna wordt voor het eerst verteld in het *Mahābhārata*, dat van Rāma in het *Rāmāyaṇa*. Het dient hierbij te worden opgemerkt dat de manier waarop deze beide goden weergegeven worden in de oudste kern van deze epen afwijkt van hun latere gedaante. Zo is de oorspronkelijke Rāma eerder een exemplarische held dan een god, en wordt Krishna in het *Mahābhārata* voorgesteld als een koning en intrigant met weliswaar goddelijk vermogen, zonder al te veel nadruk op zijn later dominante aspect als herdergod [7].

Mahābhārata en Rāmāyaṇa

Het *Mahābhārata*, de grote strijd tussen de afstammelingen van Bharata, is een Sanskrit epos bestaande uit meer dan honderd duizend dubbelverzen, gecomponeerd ergens tussen de vijfde eeuw voor en de vijfde eeuw na onze tijdrekening. Het vertelt het bijzonder complexe verhaal van twee clans van eenzelfde familie die strijd leveren om territorium: de vijf rechtschapen Pāṇḍava’s tegen hun neven, de honderd corrupte Kaurava’s. Aan de basis van het conflict ligt een problematische erfopvolging. Na de dood van koning Vicitravīrya, werden de blinde prins Dhṛtarāṣṭra en zijn halfbroer Pāṇḍu geboren uit diens echtgenote, doch verwekt door een broer van Vicitravīrya. Omwille van zijn visuele beperking

werd de niettemin capabele Dhṛtarāṣṭra voor het koningschap gepasseerd ten voordele van Pāṇḍu. Dhṛtarāṣṭra wordt vader van honderd zonen, de Kaurava's. Pāṇḍu's echtgenotes Kuntī en Mādri baren de vijf Pāṇḍava's, die in werkelijkheid verwerkt werden door vijf vedische goden. Wanneer Pāṇḍu echter vroeg sterft, wordt Dhṛtarāṣṭra vooralsnog koning. Pāṇḍu's zonen groeien samen met de Kaurava's op aan het hof, waar zij onderwezen worden in de krijgs- en andere kunsten door leraars, zoals de onoverwinnelijke Droṇa en de wijze Bhīṣma, die beschikte over de bijzonder kracht om zijn eigen levenseinde te kiezen. Met de jaren stijgt de spanning en na een leven van intriges en moordpogingen, voornamelijk vanwege de Kaurava's tegen Pāṇḍava's, komt het tot een ultieme veldslag in Kurukṣetra. Hierbij wordt nagenoeg de hele bevolking van Noord-India betrokken als geallieerden. Na een intensieve strijd van achttien dagen met massaal bloedvergieten aan beide kanten zijn de Kaurava's op enkelen na uitgemoord. De vijf Pāṇḍava's overleven en veroveren de alleenheerschappij. Krishna treedt in dit verhaal aan als de mysterieuze familievriend en bondgenoot van de Pāṇḍava's. In de strijd fungeert hij als wagenmenner van Arjuna, de meest heldhaftige van de Pāṇḍava's [8]. Mede door de ontwikkeling van het vaishnavisme en zijn *avatāra* doctrine steeg mettertijd de interesse in de figuur van Krishna. Er ontstond een nood aan meer duiding omtrent zijn afkomst, iets waarover nauwelijks wordt bericht in de hoofdboeken van het *Mahābhārata*. Hieraan wordt tegemoet gekomen in de *Harivaṃśapurāṇa*, een „appendix” (*khila*) van het epos, waarin verteld wordt over de geboorte en jeugd van Krishna, alvorens hij zich bij het leger van de Pāṇḍava's voegde. Dit boek vertelt hoe Viṣṇu zich incarneert als Krishna om Kāṃsa, zelf de incarnatie van Viṣṇu's demon-vijand, te doden. Om het kind Krishna te beschermen tegen zijn boze oom Kāṃsa, wordt hij door zijn vader ondergebracht bij een herdersgemeenschap (*gokula*). Hij groeit op bij de herder Nanda en zijn vrouw Yaśodā en beleeft daar talloze avonturen. Als adolescent keert hij terug naar zijn geboortestad Mathurā, om er tijdens een worstelwedstrijd zijn oom Kāṃsa te doden. Daarna hervat hij zijn leven als kroonprins in Mathurā en later als koning in Dvāraka [9].

Terwijl Krishna in het *Mahābhārata* eerder als een figurant fungeert, is de andere dominante *avatāra* van Viṣṇu, Rāma, de protagonist in het andere epos, *Rāmāyaṇa*. Het *Rāmāyaṇa*, letterlijk „de gangen van Rāma”, dat gecomponeerd werd tussen de zesde eeuw voor en de tweede eeuw na onze tijdrekening, handelt over een prins, Rāma, die door de intriges van zijn stiefmoeder verbannen wordt naar het woud samen met zijn echtgenote Sītā en jongere halfbroer Lakṣmaṇa. Tijdens hun ballingschap wordt Sītā ontvoerd door Rāvaṇa, de demonenkoning van het eiland Laṅkā, die zo machtig was dat hij ooit Indra gevangen nam. Op Rāvaṇa's bevel neemt één van zijn demon onderdanen de gedaante aan van een gouden hert, dat Rāma en Lakṣmaṇa van bij Sītā weg lokt, en aldus Rāvaṇa de ruimte geeft om Sītā weg te voeren in zijn hemelwagen richting Laṅkā. Rāma en Lakṣmaṇa gaan op zoek naar Sītā en krijgen daarbij de hulp van het apenvolk, onder leiding van Sugrīva en zijn beroemde minister Hanumān [10]. Deze Sugrīva

was eveneens uit zijn stad verbannen door zijn oudere broer Vālin, en net als Rāma diep bedroefd om de scheiding van zijn geliefde. Rāma doodt Sugrīva's vijand Vālin, en als wederdienst stuurt Sugrīva zijn troepen uit om Sītā te vinden. Hanumān gaat op zoek naar Sītā in zuidelijke richting, en vindt haar terug in een bos buiten het paleis van Rāvaṇa. Sītā wil echter door haar echtgenoot zelf gered worden en weigert met Hanumān mee terug te keren naar het vasteland. Samen met een leger van apen bouwt Rāma een dam over de oceaan en steekt hij over naar Laṅkā. Na een lange strijd tussen Rāma en de apen enerzijds, en de demonenlegers anderzijds, doodt Rāma Rāvaṇa en wordt hij herenigd met Sītā [11].

De Jain respons

Toen de Jains de ontwikkelingen binnen het vaishnavisme waarnamen en zich ongeveer vanaf de eerste eeuwen van onze tijdrekening geconfronteerd zagen met de stijgende populariteit van Rāma en Krishna, kozen zij voor een dubbele strategie. Enerzijds stelden zij deze figuren en hun verhalen in vraag; anderzijds absorbeerden en transformeerden zij ze, conform aan hun eigen ideologie. Concreet deden zij dit door eigen versies van deze verhalen te componeren. Rāma, Krishna en hun antagonisten werden geïntegreerd in een lijst van drieënzestig „grote mannen” (*śalākāpuruṣa*'s of *mahāpuruṣa*'s), bestaande uit vierentwintig *jina*'s, profeten van de leer, twaalf *cakravartins*, wereldheersers, en negen trio's van een *baladeva*, *vāsudeva* en *prativāsudeva*. Al deze helden dragen op één of andere manier bij aan de verspreiding van de Jain doctrine. Van de trio's is de *baladeva* steeds een vrome Jain, wiens jongere halfbroer, de *vāsudeva*, hun gemeenschappelijke vijand, de *prativāsudeva*, doodt. Rāma, zijn halfbroer Lakṣmaṇa en hun vijand Rāvaṇa worden binnen dit model beschouwd als de achtste *baladeva*, *vāsudeva* en *prativāsudeva*. Krishna, zijn oudere halfbroer Balarāma en hun oom Kāṁsa vormen samen de negende *vāsudeva*, *baladeva* en *prativāsudeva*. De biografieën van deze drieënzestig helden vormen de Jain *Purāṇa*'s, een categorie van literatuur die een tegengewicht moest vormen voor de hindoe *Purāṇa*'s, de belangrijkste bronnen voor de meer populaire vormen van hindoeïsme [12].

Jain Rāmāyaṇa

De oudst bewaarde Jain *Purāṇa* is een biografie van Rāma, het *Paūmacarīyam*, letterlijk „de daden van Padma”, waarbij Rāma ook Padma wordt genoemd. Dit episch gedicht werd voor de vijfde eeuw gecomponeerd in het Middelindische Prakrit Māhārāṣṭrī door de Jain monnik Vimalasūri [13]. De tekst vangt aan met de beschrijving van de prediking van Mahāvīra in de stad Rājagṛha, bijgewoond door de Jain koning Śreṇika. De nacht voor de prediking kan Śreṇika de slaap niet vatten:

Hij begon na te denken over wat Mahāvīra had gezegd volgens de doctrine: „Deze wereld kent helden, *cakravartins*, etc. Mijn geest is zeer vertwijfeld over de biografie van Rāma. Hoe kan het dat machtige, heldhaftige demonen gedood worden door simpele apen? Volgens de opperste *jina* waren zij helden, geboren in een roemrijke dynastie, trots en machtig, meesters van bovennatuurlijke krachten (*vidyā*). In die populaire tradities zeggen ze dat alle demonen, met Rāvaṇa op kop, vet, bloed, vlees, etc. aten en dronken. Rāvaṇa's broer, de machtige Kumbhakarṇa, zou zes maand zonder pauze geslapen hebben, zelfs terwijl olifanten, groot als bergen, zijn reusachtige lijf vertrappelden en zijn oren werden volgegoten met olie. Hij zou de luide drums en hoorns die voor hem werden bespeeld, niet hebben gehoord. Die reus kwam niet uit zijn bed, vooraleer de tijd [van zes maanden] verstreken was. En toen hij wakker werd, zijn lichaam gekweld door immense honger, zou hij alles wat in zijn buurt kwam hebben opgeslokt, olifanten, buffels, etc. Nadat hij zijn buik gevuld had met talloze goden, mensen, olifanten, etc. zou die woesteling weerom in bed zijn gekropen en nog eens zes maand hebben geslapen. Verder zegt men dat Rāvaṇa Indra in een gevecht onderwierp, en hem in boeien naar Laṅkā bracht. Wie in het hele universum, zelf bij de goden en demonen, is in staat om Indra, hij die de wereld en zijn oceanen ondersteunt, hij die de olifant Airāvaṇa en de donderkeil als machtige wapen bezit, te onderwerpen? Zelf nog maar bij de gedachte aan zoiets, zou een ander gereduceerd worden tot as! Zoals een leeuw die gedood wordt door een hert, of een olifant die geslagen wordt door een hond, zulke ongeloofwaardige elementen worden beschreven in het *Rāmāyaṇa* dat door die dichters werd gecomponeerd. Het is allemaal gelogen. Er is immers geen bewijs voor. Wijze mensen geloven er niet in” (2.104-117).

De volgende dag richt Śreṇika zich tot Gautama, Mahāvīra's eerste discipel, en wijst hij hem op de zogenaamde leugenachtige episodes in de „andere versie van het Rāma verhaal”:

Roemrijke Gautama, ik wil de volledige biografie van Rāma horen. Predikers van slechte doctrines hebben faam vergaard. Roemrijke Gautama, als Rāvaṇa, een demon, zo machtig was als Indra, de koning van de goden, hoe komt het dan dat hij verslagen werd door apen in een gevecht? Hoe kon Rāma een hert met een gouden lijf doden in het woud? Hoe kon hij Vālin doden met een list terwille van Sugrīva en Sūtārā? [14] Hoe kon Rāvaṇa naar het rijk van de goden gaan, Indra verslaan in een gevecht, en hem in boeien in zijn gevangenis gooien? Hoe kon Kumbhakarṇa, die ervaren was in alle wetenschappen, zes maand lang slapen? Hoe konden apen een dam bouwen in het water van de oceaan? (3.8-12)

Śreṇika verzoekt vervolgens om het „ware” verhaal van Rāma te horen.

Het aantal hervertellingen van de Indische epen — en van het *Rāmāyaṇa* in het bijzonder — op het Indisch subcontinent en tot ver daarbuiten, zijn ontelbaar [15]. Zowat elke gemeenschap, in elke regio en elke taal kende auteurs die eigen versies van dit verhaal componeerden. Sommige daarvan zijn kritisch ten opzichte van de normatieve versie uit het Sanskrit epos. Geen enkele zijn echter zo kritisch als die van de Jains. Een dergelijke passage zoals hierboven geciteerd uit het *Paṭimacariyam*, waarin het normatieve *Rāmāyaṇa* expliciet wordt verworpen, vinden we terug in enkele van de oudste en meest invloedrijke Jain versies [16].

Jain Mahābhārata

Sommige Jain versies van het *Mahābhārata* en de *Harivaṃśapurāṇa* bevatten eveneens dergelijke verwerpingen, zij het in mindere mate dan in de Jain *Rāmāyaṇa* 's [17]. Het oudste werk waarin we dergelijke verwerpingen terugvinden is het *Riṭṭhaṇemicariu*, gecomponeerd in het Laatmiddeleeuws Apabhraṃśa door Svayambhūdeva in de tweede helft van de negende eeuw [18]. De narratieve context is weerom de prediking van Mahāvīra, bijgewoond door Śreṇika, die Gautama toespreekt:

Verwarring teistert thans mijn geest. Er worden zaken verkeerdelijk begrepen onder de mensen. Zo zou Krishna, een god, als wagenmenner dienaar geweest zijn van Arjuna, een mens. Dhṛtarāṣṭra en Pāṇḍu zouden buitenechtelijk verwekt zijn. Kuntī zou vijf mannen haar echtgenoten hebben genoemd, en Draupadī was met alle vijf de Pāṇḍava's gehuwd [19]. Dit is een leugen. De waarheid moet worden verteld! Slecht gedrag is een ornament voor verdriet. [Zij die dit handhaven] zijn niet bezorgd om het vernietigen van hun goede naam. Indien Bhīṣma kon kiezen wanneer hij zou sterven, waarom is hij dan überhaupt gestorven? Indien Droṇa onoverwinnelijk zou zijn met pijl en boog, waarom is hij dan omgekomen op het slagveld? Hoewel Karna zou geboren zijn uit haar oor, toch is Kuntī niet omgekomen toen zij hem baarde. Droṇa, een mens, zou geboren zijn uit een waterpot. Hoe vertoerd ze ook mogen zijn, verwanten drinken toch zeker niet elkaars bloed? (1.2.1-9) [20]

Wanneer hij dit hoort, vangt Gautama aan met vertellen van het verhaal volgens de leer van Mahāvīra.

De verwerpingen en transformaties

Deze fragmenten maken duidelijk wat meer precies door de Jains wordt verworpen in deze epen. In tegenstelling tot wat men zou verwachten, is het niet zo dat specifiek religieuze hindoe elementen in het verhaal die niet stroken met de Jain ideologie, bekritiseerd worden. Men denke hierbij bijvoorbeeld aan het vele bloedvergieten door de helden, wat haaks staat op het principe van absolute geweldloosheid (*ahimsā*) van de Jains. Ook de Jain versies staan immers bol van beschrijvingen van heldhaftige en gewelddadige veldslagen. Het zijn veeleer de interne inconsistenties in het verhaal die de Jain auteurs bekritisieren. Zo wordt in het *Rāmāyaṇa* het idee in twijfel getrokken dat demonen, en al zeker een machtige demon die in staat zou zij geweest de koning der goden gevangen te nemen, gedood worden door apen. Ook het gegeven van Rāvaṇa's overwinning op Indra zelf wordt in vraag gesteld. In het *Mahābhārata* wordt het idee dat een god, Krishna, aantreedt als dienaar van een mens, Arjuna, beschouwd als een inconsistentie. Andere verwerpingen betreffen zaken die indruisen tegen de meer algemene menselijke ratio: het feit dat er een wezen zou bestaan zoals Kumbhakarna dat mensen,

olifanten, buffels, etc. opslokt en zes maand lang zou slapen; of het idee dat iemand geboren wordt uit het oor van een vrouw of een waterpot. Een aantal bekritiseerde passages kunnen verklaard worden als zijnde een gevolg van evoluties in de Indische maatschappij. Zo veroordeelt Svayambhūdeva het idee in het *Mahābhārata* dat twee koningen verwekt zijn door de broer van hun vader na diens dood. Het betreft hier de praktijk van leviraat (*niyoga*) die niet ongevoen was in de eeuwen voor onze tijdrekening, maar ten tijde van de compositie van de Jain versies compleet in diskrediet was geraakt in de gehele maatschappij. De polyandrie van Kuntī en Draupadī lijkt gebaseerd te zijn op eenzelfde ontwikkeling.

De verhalen van de Sanskrit epen, die vorm kregen over een periode van meerder eeuwen, werden door de Jain auteurs getransformeerd tot versies met meer coherentie, meer in lijn met hun eigen tijd, en hun eigen wereldbeeld. In de eerste plaats werden alle helden Jains, die zich, elk op hun manier, inzetten voor de verdediging en verspreiding van de doctrine. In de Jain *Rāmāyaṇa*'s zijn Rāma's bondgenoten geen apen, maar worden ze getransformeerd tot mensen, leden van een volk die „de Apen” (*vānara*) worden genoemd, omdat zij een aap als embleem in hun vaandel dragen. Parallel hiermee zijn Rāma's vijanden eveneens mensen die „de Demonen” worden genoemd. Zowel deze Apen als Demonen beschikken echter over bovennatuurlijke krachten (*vidyā*'s), veelal verkregen door extreme Jain meditatieve praktijken, die hen in staat stellen te vliegen. In het *Mahābhārata* is Krishna geen god maar een menselijke, zij het helfhaftige, koning, noch is er sprake van buitengewone geboortes uit een oor of een pot, en suggesties van leviraat en polyandrie worden achterwege gelaten.

Het aantal Jain werken rond het *Rāmāyaṇa* of *Mahābhārata* thema dat door de eeuwen heen werd gecomponeerd is relatief hoog. Van elk zijn er vele tientallen verschillende versies geattesteerd in verschillende talen (Sanskrit, Prakrit, Apabhramśa, maar ook de volkstalen). De meeste daarvan zijn voorlopig nog onuitgegeven bewaard in manuscriptvorm. De bedoeling van de Jains was wellicht tweeledig. Ten eerste boden zij een antwoord aan hun lekengemeenschap, die zich geconfronteerd zag met de aantrekkingskracht van de hindoe Rāma en Krishna, en mogelijk geneigd was zich te bekeren. Daarnaast trachtten de Jains wellicht ook zelf, met hun rationele benadering, twijfelende hindoes te overtuigen van hun ideologie. Kortom de figuren Rāma en Krishna en hun verhalen, gaven — en geven nog steeds — ruimte voor dynamiek in het religieuze landschap van India de afgelopen tweeduizend jaar, een dynamiek waarin de Jains als geen ander mee bewegen.

NOTEN

- [1] Merk op dat volgens sommige Jain strekkingen enkel mannen in staat zijn te ontsnappen aan *saṃsāra*. Vrouwen moeten eerst een volgende geboorte als man nastreven.
- [2] Digambara nonnen dragen een wit gewaad.
- [3] Voor meer algemene duiding over jainisme, zie bijvoorbeeld DUNDAS 2002, JAINI 1998 en LONG 2009. Voor gegevens met betrekking tot religie uit de census van India van 2011, zie http://www.censusindia.gov.in/2011census/Religion_PCA.html (geconsulteerd op 5 januari 2016)
- [4] De oudste Jain teksten zijn niet eenduidig met betrekking tot het kastenstelsel. Het bestaan van een sociale orde (*varṇa* systeem) wordt omschreven als een maatschappelijke noodzaak, zij het zuiver gebaseerd op beroep en eigen keuze, en niet op afkomst, zoals dit in de hindoe stromingen het geval is. In tegenstelling tot wat hindoe teksten beweren, is volgens de Jains deze sociale orde niet van goddelijke oorsprong, maar door mensen gecreëerd. De heersende hegemonie van de brahmanenstand wordt in het bijzonder verworpen, zoals blijkt uit de vele verhalen van Jain asceten die belaagd worden door stereotypische hebzuchtige, agressieve en onwetende brahmanen. Ook staat, sinds de vroegste fase, de Jain ideologie open voor lage kasten en kastelozen, die in het hindoeïsme geen toegang hebben tot heilige teksten of rituelen. Getuige hiervan zijn canonieke verhalen zoals dat van Harikeśin, de kastenloze (*caṇḍāla*) discipel van Mahāvīra, de laatste grote profeet (*jina*) en (laatste) historische stichter van het jainisme (ca. 6de eeuw v.o.t.). De hindoe praktijk van dierenoffers wordt omschreven als een misverstand, vooral te wijten aan omwetendheid en in het bijzonder van brahmanen. Verhalen hierover, zoals dat van koning Vasu of prins Yaśodhara, zijn bijzonder talrijk.
- [5] Voor meer informatie over de ontwikkeling van deze hindoe tradities, zie bijvoorbeeld FLOOD 1996, 2003 en KLOSTERMAIER 2007.
- [6] Ik geef hier de voorkeur aan de meer gangbare vorm Krishna, in plaats van de correcte transliteratie Kṛṣṇa uit het Sanskrit.
- [7] Voor informatie over de ontwikkeling van de figuur van Krishna, zie MATCHETT 2001 en SHETH 1984. Voor achtergrond over de ontwikkeling van Rāma, zie BROCKINGTON 1984.
- [8] In deze hoedanigheid geeft Krishna instructie aan Arjuna, wanneer die, vlak voor het uitbreken van de strijd, overmand wordt door twijfel en verdriet. Na Krishna's inspirerende woorden neemt Arjuna de wapens weer op. Deze speculatieve passage, de *Bhagavad Gītā*, letterlijk „lied van de heer”, is een zeer belangrijk werk in de Krishna theologie.
- [9] Het *Mahābhārata* werd kritisch uitgegeven door SUKTHANKAR (1933-1966). De vertaling van de eerste vijf boeken (in drie volumes) van deze kritische editie van VAN BUITENEN (1973-1978) werd aangevuld met de vertaling van het elfde en de eerste helft van het twaalfde boek door FITZGERALD (2004). Naast het vertaalproject van Van Buitenen en Fitzgerald, werd de kritische editie ook ten dele heruitgegeven en voorzien van een nieuwe vertaling in de Clay Sanskrit Library reeks. Voor academische studies van het *Mahābhārata*, zie bijvoorbeeld BROCKINGTON (1998) en HOPKINS (1901).
- [10] Ik geef hier de voorkeur aan de meer gangbare vorm Hanumān (uit het Hindi), in plaats van de correcte Sanskrit transliteratie Hanumant.

- [11] Het *Rāmāyaṇa* werd kritisch uitgegeven door BHATT & SHAH (1960-1975). Deze kritische editie werd vertaald onder het uitgeverschap van Goldman, gepubliceerd bij Princeton University Press. De eerste vijf boeken van deze vertaling werden heruitgegeven en voorzien van de Sanskrit tekst in de Clay Sanskrit Library reeks. Voor academische studies van het *Rāmāyaṇa*, zie bijvoorbeeld BROCKINGTON (1984, 1998) en BULCKE (1950).
- [12] GLASENAPP (1999, pp. 271-346) geeft een overzicht van al deze heldenverhalen. Voor meer informatie over de hindoe *Purāṇa*'s, zie ROCHER (1986).
- [13] Het *Paīmacariyam* werd kritisch uitgegeven en vertaald in het Hindi door JACOBI & PUṆYAVIJAYA (1962-1968), en bestudeerd door CHANDRA (1970). KULKARNI (1990) geeft een analyse van meerdere Jain *Rāmāyaṇas*, waaronder het *Paīmacariyam*.
- [14] In het *Rāmāyaṇa* wordt Rumā genoemd als echtgenote van Sugrīva. Tārā of Sūtārā is de naam voor Vālin's echtgenote. Vele latere versies, inclusief het *Paīmacariyam*, verwarren deze twee personages en beschrijven Tārā als echtgenote van Sugrīva.
- [15] De diversiteit van het *Rāmāyaṇa* wordt bijvoorbeeld behandeld door RICHMAN (1991, 2000). Studies van andere *Mahābhārata* versies zijn schaarser. LOTHSPICH (2009), bijvoorbeeld, behandelt moderne adaptaties van het *Mahābhārata*.
- [16] Voor een uitgebreider overzicht van dergelijke passages in de andere Jain *Rāmāyaṇas*, zie DE CLERCQ & VEKEMANS (2016).
- [17] DE CLERCQ (2008) biedt een overzicht van de Jain *Mahābhārata*'s en *Harivaṃśa-purāṇa*'s.
- [18] Het *Riṭṭhaṇemicariu* werd ten dele uitgegeven door TOMAR (1993-2000). Het eerste boek werd heruitgegeven en voorzien van een vertaling door JAIN (1985). Andere Jain *Mahābhārata*'s die zich expliciet kritisch opstellen ten opzichte van de hindoe versies worden besproken in DE CLERCQ & VEKEMANS (2016).
- [19] Draupadī is de echtgenote van de vijf Pāṇḍava's.
- [20] Merk op dat de kritische editie van het *Mahābhārata* nergens attesteert dat Karna, Kuntī's buitenechtelijke zoon verwekt door de zonnegod, zou geboren zijn uit haar oor. Dit motief kan verklaard worden naar de etymologie van *karna*, wat letterlijk „oor” betekent. Alle andere elementen zijn terug te vinden in de kritische editie van het *Mahābhārata*.

REFERENTIES

- BHATT, G. H. & SHAH, U. P. (Eds.) 1960-1975. The Vālmīki-Rāmāyaṇa (7 vols.). — Baroda, Oriental Institute.
- BROCKINGTON, J. L. 1984. Righteous Rāma – The Evolution of an Epic. — Delhi, Oxford University Press.
- BROCKINGTON, J. L. 1998. The Sanskrit Epics. — Leiden, Brill.
- BULCKE, C. 1950. Rām Kathā – Utpatti aur Vikās. — Prayāg, Bhāratiya Hindī Pariṣad.
- Census of India 2011. — http://www.censusindia.gov.in/2011census/Religion_PCA.html (geconsulteerd op 5 januari 2016).
- CHANDRA, K. R. 1970. A Critical Study of Paumacariyam. — Muzaffarpur, Research Institute of Prakrit, Jainology and Ahimsa Vaishali.
- DE CLERCQ, E. 2008. The Jaina Harivaṃśa and Mahābhārata tradition – A preliminary survey. — In: KOSKIKALLIO, P. (Ed.), Parallels and Comparisons in the Sanskrit Epics and Purāṇas (DICSEP IV). Zagreb, Croatian Academy of Sciences and Arts, pp. 399-421.

- DE CLERCQ, E. & VEKEMANS, T. 2016. Rejecting and appropriating epic lore. — *In*: FLUGEL, P. (Ed.), *Jain Narratives*. London, Routledge.
- DUNDAS, P. 2002 [1992]. *The Jains*. — London, Routledge (2nd ed.).
- FITZGERALD, J. 2004. *The Mahābhārata*. — Chicago, University of Chicago Press.
- FLOOD, G. 1996. *An Introduction to Hinduism*. — Cambridge, Cambridge University Press.
- FLOOD, G. (Ed.) 2003. *The Blackwell Companion to Hinduism*. — Oxford, Blackwell Publishing.
- GLASENAPP, H. (VON) 1999. *Jainism*. — Delhi, Motilal Banarsidass Publishers Private Limited.
- GOLDMAN, R. (Ed.) 1984-2016. *The Rāmāyaṇa of Vālmīki* (7 vols.). — Princeton, Princeton University Press.
- HOPKINS, E. W. 1901. *The Great Epic of India*. — New York, Scribner's Sons.
- JACOBI, H. & PUṆYAVIJAYA, M. S. (Eds.) 1962-1968. *Ācārya Vimalasūri's Paumacariyaṃ with Hindi translation* (2 vols.). — Varanasi – Ahmedabad, Prakrit Text Society.
- JAIN, D. K. 1985. *Ritṭhaṇemicariu*. — New Delhi, Bharatiya Jnanpith.
- JAINI, P. S. 1998 [1979]. *The Jaina Path of Purification*. — Delhi, Motilal Banarsidass Publishers Private Limited.
- KLOSTERMAIER, K. K. 2007. *A Survey of Hinduism*. — New York, State University of New York Press (3rd ed.).
- KULKARNI, V. M. 1990. *The story of Rāma in Jain literature*. — Ahmedabad, Saraswati Pustak Bhandar.
- LONG, J. D. 2009. *Jainism – An Introduction*. — London, I. B. Tauris.
- LOTHSPEICH, P. 2009. *Epic Nation*. — New Delhi, Oxford University Press.
- MATCHETT, F. 2001. *Kṛṣṇa: Lord or Avatāra*. — Richmond, Curzon.
- PARGITER, F. E. 1908. The nations of India at the battle between the Pandavas and the Kauravas. — *Journal of the Royal Asiatic Society*, **40** (2): 309-336.
- RICHMAN, P. (Ed.) 1991. *Many Rāmāyaṇas*. — Berkeley, University of California Press.
- RICHMAN, P. (Ed.) 2000. *Questioning Rāmāyaṇas*. — New Delhi, Oxford University Press.
- ROCHER, L. 1986. *The Purāṇas*. — Wiesbaden, Otto Harrassowitz.
- SHEETH, N. 1984. *The Divinity of Krishna*. — New Delhi, Munshiram Manoharlal.
- SUKTHANKAR, V. S. (Ed.) 1933-1966. *The Mahābhārata* (19 vols.). — Poona, Bhandarkar Oriental Institute.
- TOMAR, R. S. (Ed.) 1993-2000. *Svayambhūdeva's Ritṭhaṇemicariya (Harivaṃśapurāṇa)* (5 vols.). — Ahmedabad, Prakrit Text Society.
- VAN BUITENEN, J. A. B. 1973-1978. *The Mahābhārata* (3 vols.). — Chicago, University of Chicago Press.

Pathogens in an Anthropized World: A Geographical Perspective on Zoonotic and Vector-borne Diseases*

by

Sophie VANWAMBEKE**

KEYWORDS. — Medical Geography; *Aedes*-borne Virus; Biological Resources; Environmental Factors; Human Environment Interactions.

SUMMARY. — Infectious diseases have not been relegated to humankind's past, far from it. This is being strikingly illustrated by the ongoing Zika fever epidemic in South America. While interest for the links between infectious diseases and the environment, in particular for vector-borne and zoonotic diseases, has drawn the attention of scientists from various disciplines for a long time, the currently exploding data availability and modelling capacity are opening new avenues for a better understanding and prediction of such infections. We present a resource-based habitat concept, expanded to include human populations, as a framework for unifying knowledge and research in the field of vector-borne diseases, with a focus on *Aedes*-borne viruses such as Zika virus and dengue virus.

MOTS-CLÉS. — Géographie médicale; Virus transmis par l'aédès; Ressources biologiques; Facteurs environnementaux; Interactions humain-environnement.

RÉSUMÉ. — *Pathogènes dans un monde anthropisé: une perspective géographique sur les zoonoses et maladies à transmission vectorielle.* — Les maladies infectieuses n'ont pas été reléguées au passé de l'humanité, tant s'en faut, ce qu'illustre de manière frappante l'épidémie de fièvre Zika en cours en Amérique du Sud. Les liens existant entre les maladies infectieuses, en particulier les zoonoses et maladies transmises par les vecteurs, et l'environnement intéressent depuis longtemps les scientifiques issus de diverses disciplines. Aujourd'hui, toutefois, l'explosion des données disponibles et les possibilités offertes par la modélisation ouvrent de nouvelles voies pour une meilleure compréhension de telles infections. Nous présentons ici un cadre conceptuel d'habitat basé sur les ressources, élargi pour y inclure la population humaine, cadre destiné à unifier les connaissances et la recherche dans le domaine des maladies à vecteur, en donnant priorité aux virus transmis par les moustiques du genre *Aedes*, tels que le virus Zika et celui de la dengue.

* Paper presented at the meeting of the Section of Human Sciences held on 16 February 2016. Text received on 3 June 2016 and submitted to peer review. Final version approved by the reviewers received on 16 December 2016.

** Member of the Academy; Université catholique de Louvain, Earth & Life Institute, Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research, place Pasteur 3, B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgium).

TREFWOORDEN. — Medische geografie; *Aedes*-overgedragen virus; biologische rijkdommen; Milieufactoren; Milieu-mens-interacties.

SAMENVATTING. — *Pathogenen in een geanthropiseerde wereld: een geografisch perspectief op zoönoses en vector-overgedragen ziekten.* — Infectieziekten behoren jammer genoeg niet tot het verleden. Dit wordt levendig geïllustreerd door de recente uitbraak van Zikakoorts die zich momenteel voltrekt in Zuid-Amerika. De verbanden die bestaan tussen besmettelijke ziekten, zoönoses en vector-overgedragen ziekten enerzijds, en omgevingsfactoren anderzijds, hebben al sinds lang de aandacht getrokken van wetenschappers uit diverse disciplines. Vandaag de dag stellen de enorme hoeveelheden aan gegevens alsook simulatiemodellen ons in staat om nieuwe pistes te verkennen die ons een beter inzicht kunnen geven in infectieziekten. We presenteren hier een conceptueel kader voor de studie van habitats dat uitgaat van bestaansmiddelen en dat op een expliciete manier rekening houdt met de menselijke bevolking. Deze benadering biedt een uniek framework om onze kennis van vector-overgedragen ziekten te vergroten. In deze paper richten we ons op de virussen die worden overgedragen door *Aedes* muggen, zoals het Zika- en denguevirus.

Introduction

News over the past few years have reminded us that, far from being in our past, infectious diseases are persisting and will persist. Infectious diseases were, and will be, companions of humankind (FAUCI & MORENS 2012, JONES *et al.* 2008). Most recently headlining the news is the mosquito-borne Zika fever, caused by Zika virus. After emerging in the Pacific in 2007, its first appearance in America was identified, retrospectively, in Brazil in late 2014 (MUSSO & GUBLER 2016). It is now estimated to have caused about thirty thousand cases in Brazil (FARIA *et al.* 2016). Known to virologists since its discovery in the Zika forest of Uganda in 1947, Zika virus had previously been recorded in Africa and Asia (FAUCI & MORENS 2016). Infection with Zika virus had been associated generally with mild, self-limiting symptoms prior to 2013, but this changed following the French Polynesia epidemic. Strong hypotheses exist concerning neurological complications (Guillain-Barré syndrome) (MUSSO & GUBLER 2016) and neurological complication in neonates (microcephaly) (CAUCHEMEZ *et al.* 2016, JOHANSSON *et al.* 2016). While still incomplete, the epidemiological and experimental evidence for the link between microcephaly and infection with Zika virus is mounting fast enough for the WHO to have declared an emergency on 1 February 2016 (World Health Organisation 2016), and for the CDC to recommend that pregnant women avoid travelling to areas where the virus is known to circulate (Center for Disease Control 2016). All ingredients for widespread worry amongst the general population and for major global concern are gathered: a virus likely to cause severe birth defect emerging on a continent where it was previously unrecorded, transmitted by mosquitoes that are at the moment expanding their distribution globally on a backdrop of global environmental change. In the meantime, dengue persists as a scourge of the tropics, causing an estimated

three hundred and ninety million infections and ninety-six million symptomatic cases yearly (BHATT *et al.* 2013).

Being mosquito-borne, arboviruses such as dengue virus and Zika virus have strong relationships with the environment: their transmission cycle relies on exo-thermic vectors and, often, wild reservoir hosts. All these organisms have specific habitat requirements that environmental conditions affect. The idea that mosquito-borne diseases, and more generally vector-borne diseases, are tightly associated to environmental conditions is not novel, and has been formulated in diverse fields such as medicine (MAY 1952), biogeography (PAVLOVSKY 1966), and geography (SORRE 1933). Their studies looked closely at various vector and pathogen systems and established the foundations of what can now be found under the broad field of landscape epidemiology. In geography, work has expanded greatly in the second half of the 20th century, applying emerging quantitative methods and dealing with diverse topics ranging from AIDS to health care (VERHASSELT 1993).

Interest for the connections between vector population distribution, pathogen circulation, and the environment has, however, soared for the past twenty years (KITRON 1998, OSTFELD *et al.* 2005, REISEN 2010), and two major reasons can be highlighted for this. First, as emphasized by recent epidemics, many aspects of ongoing global environmental changes have a significant impact on the risk of infectious disease emergence and re-emergence. This goes clearly well beyond the climatic aspects of global change (JONES *et al.* 2013, MCMICHAEL 2004). Changes in animal populations (domestic and wild), in human populations, in interactions between animal and human populations, land use and cover change, global travel of goods and people, all have been related to notable events related to infectious diseases. Second, our capacity to analyse the associations between environmental and epidemiological factors is greater than ever. Key to this is the data availability: we can now map with high spatial and temporal resolution many environmental factors relevant to zoonotic and vector-borne diseases (ESTRADA-PEÑA *et al.* 2016, HERBRETEAU *et al.* 2007, ROGERS *et al.* 2002). The efforts allocated to monitor and model the global environment and its changes are benefitting efforts to better understand and predict the distribution and dynamics of vectors and vector-borne diseases. Data concerning vectors, pathogens, and diseases are also getting more widely available thanks to increase in reporting, better data publication and compilation (PURSE & GOLDING 2015), as well as the appearance of novel digital tools (MADDER *et al.* 2012) and citizen science projects (GARCIA-MARTÍ *et al.* 2016). These data can be fed to ever more elaborate yet more accessible models of the effect of the environment on vector distribution, pathogen distribution, and disease risk (CIANCI *et al.* 2015, DE CLERCQ *et al.* 2015). Expanding data and model elaboration together offer a world of possibilities as well as needs. Despite this broad availability, the data often represent keyholes onto complex ecological systems. Environmental data are often proxies of the actual factors considered (ESTRADA-PEÑA *et al.* 2016),

and most epidemiological data only ever monitor a part of the transmission system (RANDOLPH 2001). This leads to a plethora of results that are incomparable, either because proxies are not directly comparable, because the part of the transmission system is different, or because the spatial or temporal scales considered differ. We propose that a strong conceptual background focused on the ecology of the pathogen would help consolidate knowledge already acquired in previous modelling efforts, and elaborate more coherent models even if they answer diverse needs.

In this paper we elaborate a resource-based habitat concept as drawn from conservation ecology, focused on the case of *Aedes*-borne flaviviruses such as Zika virus and dengue virus, two viruses of global public health concern. We detail the concept as adapted to such pathogens, all the way to their human niche, then discuss how it could help identify and formulate ecological hypotheses, and guide modelling and monitoring efforts.

Pathogens as Organism of Focus: *Aedes*-borne Flaviviruses

As can be seen, our proposed resource-based habitat concept focuses ultimately on the pathogen. In this paper, we focus on two *Aedes*-borne flaviviruses of public health importance: Zika virus and dengue virus. Other *Aedes*- or mosquito-borne flaviviruses include Yellow Fever virus, West Nile virus and Japanese encephalitis virus (GRARD *et al.* 2010). Dengue virus usually causes asymptomatic or mildly symptomatic disease, but can cause dengue haemorrhagic fever. Dengue fever is found across the tropics, but incidence is difficult to estimate as most cases present mild symptoms. According to the WHO, dengue fever causes about fifty to one hundred million cases annually (Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases and World Health Organization 2009) but others place this figure at about ninety million (BHATT *et al.* 2013). Both viruses appear to be principally vectored by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* mosquitoes. These two species are extremely well adapted to anthropized landscapes.

Dengue virus and Zika virus transmission relies on at least three species (pathogen, vector, and host). Often, both *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* are implicated in transmission. When sylvatic transmission takes place, involving non-human primates and monkeys, several host species also need to be considered. This means that examining the ecological functions and resources required for the various species involved in transmission will be necessary to represent the habitat of the virus. It also means that most monitoring efforts will only document a section of the transmission cycle.

A Resource-based Habitat for *Aedes*-borne Flaviviruses

The resource-based habitat concept (RBHC) finds its origin in conservation ecology primarily (HARTEMINK *et al.* 2015) and adopts a functional ecology perspective, with a focus on the organism and its needs, rather than on habitat characteristics such as vegetation classes (DENNIS *et al.* 2003, 2006). The functions that the organism of focus — here, the pathogen — needs to carry out are identified (*e.g.* feeding, mating, oviposition, ...). These functions are then associated to specific resources found in the environment. The resources can be either a consumable (*e.g.* host plant for an herbivorous insect), or utility (*e.g.* suitable micro-climate). A bottom-up approach is thus adopted here, in line with the classical ecological niche concept. Furthermore, the resource-based habitat concept explicitly accounts for the movement capacity of the organism; so, its capacity to make use of diverse, multiple resources in the landscape, provided they are within reach. Contrary to a habitat-focused approach, which often tends to associate a single land cover class to an organism, combinations of landscape elements or land cover types that offer all the required resources can be identified and mapped (HARTEMINK *et al.* 2015). Here we bring this ecological perspective towards the geographical perspective by including human hosts and their own relevant functions and resources (fig. 1). We focus here on fine-scale environmental features and ecological interactions at the landscape level, and assume climatic conditions favourable to pathogen, vectors, and hosts.

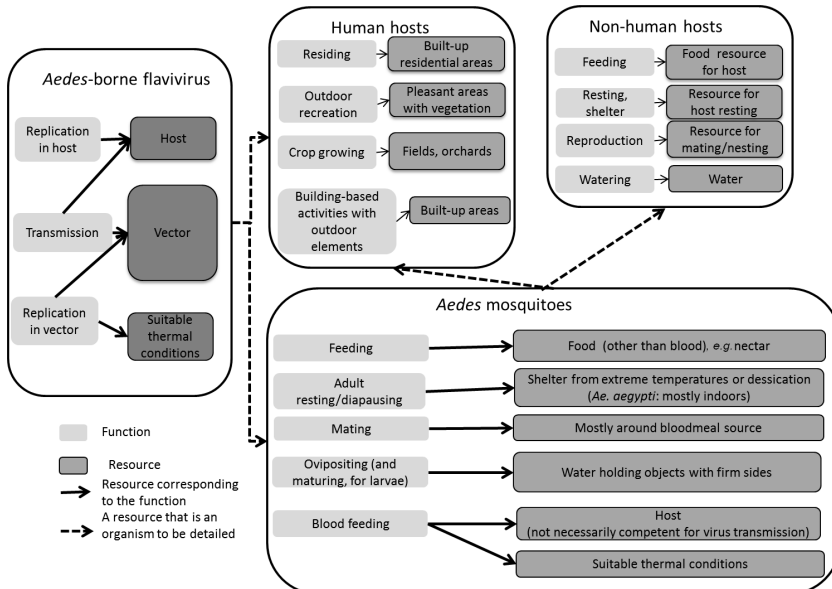


Fig. 1. — A resource-based habitat concept adapted to *Aedes*-borne viruses.

PATHOGEN LEVEL

We can identify three essential functions for *Aedes*-borne flaviviruses: replication in the host, replication in the vector, and transmission. This leads us to identify two resources necessary for the pathogen: vectors and hosts. Vectors are here identified as mosquitoes of the genus *Aedes*, and we focus here on the two species of primary interest for public health: *Ae. aegypti* and *Ae. albopictus*. The host species of interest will vary according to whether the virus considered circulates in non-human hosts in a sylvatic cycle, or whether the virus has adapted to circulate, at least in part, in humans.

VECTOR LEVEL

Vectors are a necessary resource for the pathogen functions of transmission and replication in the vector. They have of course their own functions and resources that need to be accounted for, which include hosts. For *Aedes* mosquitoes, we can identify the functions of feeding, adult resting and diapausing, mating, ovipositing (and maturing, for larvae), and blood feeding (*cf.* fig. 1). Feeding here refers to nectar feeding, which requires plant, either nectar or honeydew, possibly also from fruit and sap from wounds. The importance of this varies between males and females (STONE & FOSTER 2013), as only females feed on blood. The importance of nectar feeding for females appears to vary between sites, possibly in relation to availability, and may affect vectorial capacity. *Ae. aegypti* females, highly adapted to the human indoor environment, largely rely on multiple blood feeding to get energy (SCOTT & TAKKEN 2012). For *Ae. aegypti*, resting largely relies on the human built-up environment, with a strong preference for those buildings where humans are found (RITCHIE 2014). In *Aedes* mosquitoes, mating does not necessarily take place in swarms, as males usually seek females around blood meal sources (OLIVA *et al.* 2014). Oviposition takes place in water-holding objects with firm sides (RITCHIE 2014). This includes artificial containers made up of a diversity of materials, as well as some natural containers such as tree holes, bamboo, open coconuts, leaves. *Ae. aegypti*, now fully adapted to the urban environment, relies mostly on artificial containers (RITCHIE 2014), while *Ae. albopictus* relies on both artificial and natural containers (VANWAMBEKE *et al.* 2007). Such objects suitable for *Aedes* breeding can also be found in cultivated areas such as orchards (VANWAMBEKE *et al.* 2007), so their role as an area providing ovipositing resources may need to be considered. These mosquito species may have adapted to artificial containers as early as the 17th century in the case of *Ae. aegypti*. This has allowed them to travel from continent to continent, during the slave trade for *Ae. aegypti* (GUBLER 2014), and more recently with trade of goods for *Ae. albopictus* (KRAEMER *et al.* 2015, REITER & SPRENGER 1987). Blood feeding resources, *i.e.* hosts, are essentially found in humans for *Ae. aegypti*, emphasizing its current full reliance on the anthropized

environment as highlighted for ovipositing sites. While *Ae. albopictus* is known to be more opportunistic (PAUPY *et al.* 2009), if humans are available it will largely feed on them, or on animals associated to humans such as dogs and pigs (PONLAWAT & HARRINGTON 2005). Possibly a better way to describe the feeding behaviour of *Aedes* mosquitoes is their plasticity in relation to circumstances (FARAJI *et al.* 2014).

HOST LEVEL: NON-HUMAN HOSTS

In the case of the viruses of focus here, non-human hosts do not always intervene. Dengue virus mostly circulates as an urban, entirely human transmission cycle. In Asia, where dengue virus originates from, all four dengue virus serotypes have been identified in sylvatic cycles, *i.e.* a transmission cycle relying on non-human primates and monkeys (GUBLER 2014). The move-out of the forest and into rural villages is estimated to have taken place about 2,000-4,000 years ago (GUBLER 2014). When these viruses are introduced into new areas, it is most importantly related to the travel of infected humans bringing the virus into a new area (*e.g.* for Zika: FARIA *et al.* 2016, MUSSO & GUBLER 2016). However, the role of non-human hosts may be significant in those areas where an urban cycle is not established yet or where control efforts reduce virus circulation in humans. The current epidemic of Zika fever in Brazil illustrates these issues. Preliminary results indicate that the virus may circulate in non-human primates (FAVORETTO *et al.* 2016). In circumstances where possible non-human hosts are found, it may be useful to include them. Because focusing on a specific species is not relevant here, we do not detail the functions and associated resources beyond the general indications of figure 1.

HOST LEVEL: HUMAN HOSTS

A full list of functions of human hosts would be challenging, but is not necessary. Only those functions or human activities that may expose them to mosquito bites, thus exposing them to be infected, or to serve as a host and infect mosquitoes, need to be pinpointed. Indeed, this may still include a broad diversity of elements when considering the fact that *Aedes* mosquitoes are day-biters, but keeping in mind that the purpose is eventually to map human hosts in relation to the vector (and possibly of non-human hosts), the list can be kept manageable. For the purpose of this overview of the conceptual framework, we mention residing, recreation, crop growing, and building-based activities associated to outdoor surroundings (*e.g.* schooling). Local contexts may help to identify the most relevant landscape elements: while it is clear that *Aedes* mosquitoes are extremely well adapted to the urban environments, not all built-up areas or human-frequented areas equally support transmission, depending on how well they support human-vector contact. This has been illustrated for example across the border between

Mexico and the United States of America where, despite similar climatic conditions, dengue prevalence differs greatly. This relates to human behaviour and living conditions (REITER *et al.* 2003). In a study of dengue transmission potential on the island of Oahu (Hawaii), residential areas and outdoor recreation were selected to map areas of greatest exposure to mosquito bites (VANWAMBEKE *et al.* 2011). If cultivated areas provide mosquito oviposition sites, they may need to be considered here in relation to the human activity of crop growing.

This broad overview of the RBHC for *Aedes*-borne flaviviruses clearly shows that this framework can only be of use if including human environment. Indeed, these transmission systems are now nearly exclusively relying on human populations, and the vectors are highly adapted to the urban or built-up environment.

Discussion: Moving Forward with a RBHC for *Aedes*-borne Flaviviruses in an Anthropized World

The RBHC framework offers an integrated perspective of human-environment interactions in the context of zoonotic and vector-borne diseases. It allows to identify precisely the habitat of a pathogen in relation to the habitat of the species necessary to its transmission cycle. Furthermore, it includes aspects of movement capacity. This may appear of limited interest for the fully-urbanized transmission of dengue by *Ae. aegypti*. However, in the case of emerging viruses such as Zika virus, or in areas where the more rural *Ae. albopictus* is prevalent, the movement capacity of vectors and non-human hosts may be more important to consider. Also, the depth of the association between the functional resources of this virus (vectors and hosts) is made striking by the model, as humans appear both as the host and as the (unwilling) providers of many of the vector's resources. There could hardly be a more glaring illustration of the importance for health of the issue of human-environment interactions. Regardless, most other conceptual frameworks that focus on human-environment interactions to understand vector-borne disease transmission, such as One Health (HARTEMINK *et al.* 2015, ZINSTAG *et al.* 2011) or Ecohealth (WILCOX *et al.* 2004), do not offer such a structured approach to pathogen habitat and interactions between the species involved. Only the RBHC framework allows to strictly identify all environmental resources needed for the system to function, allowing thus to formalize the search for the best environmental proxies to the transmission systems. As such, it will be an important complement to broad concepts such as One Health and Ecohealth, and has great potential to contribute to bridging mechanistic and statistical modelling approach (HARTEMINK *et al.* 2015).

In this paper we have focused on the landscape scale. Clearly, the landscape scale is the main entry point for understanding the contacts between vectors and hosts in a way that opens up possibilities for control measures. It is the scale at which relevant human activities take place and where land management decisions,

including those that can affect disease risk, are taken. Other, broader scales of study can, however, also be approached usefully by the RBHC, and offer for example insight into apparent differences in habitat between environmentally different regions. This has been found for the grayling butterfly (*Hipparchia semele*), which occupies structurally different habitats in different regions in Europe (heathland or forest). The habitats are, however, similar when considering their correspondence to a functional requirement (VAN DYCK 2012).

One major attraction of the RBHC in the context of *Aedes*-borne flaviviruses may be their usefulness in identifying knowledge gaps and structuring formal questions on the ecology of the organism under study. Considering the current situation with Zika virus, and reflecting ongoing preoccupation, several such questions can be highlighted. The risk of introduction in areas that are currently virus-free is a major cause of concern, in particular in relation to international travel, a concern that was raised particularly in the context of the Olympics held in Brazil. Current models deal with this question relatively poorly: empirical statistical models require data to be computed but we are faced here with scenarios never encountered before, and mechanistic models deal poorly with environmental factors in a spatially-explicit context (HARTEMINK *et al.* 2015). If confirmed, the presence of the virus in non-human primates in contexts where humans, non-human primates, and mosquitoes interact closely may interfere with control efforts. The functional ecology considered in the RBHC would be useful for this question.

When considering humans, it may appear challenging to identify and map the relevant functions to consider. Indeed, as we are here considering day-biting mosquitoes that live in close association with human populations, it may appear irrelevant and unfeasible to distinguish between diverse human activities. However, not all activities equally expose people: desk work in an air-conditioned office would relate to a very low degree of exposure, and a central business district could therefore be excluded in a map of risk. On the other hand, areas where people gather for outdoor social and sport activities are not necessarily found in built-up areas but may provide mosquito habitat as well as intense exposure (VANWAMBEKE *et al.* 2011). As suggested above, thanks to the focus on functional aspects of habitats, the RBHC may help to compare existing empirical studies that do not appear coherent or identify differences related to plasticity of the organisms involved.

Conclusion

Due to the persisting importance of zoonotic and vector-borne diseases in today's world, a thorough understanding of the effect of human-environment interactions on pathogen transmission is indispensable. The RBHC offers a robust perspective to formalize existing knowledge, structure research questions

and data collection, and bridge modelling approaches. By expanding it to humans, we make it useful beyond ecology and for public health. We believe it can be a very useful support to existing, more general conceptual frameworks of environment and health.

REFERENCES

- BHATT, S., GETHING, P. W., BRADY, O. J., MESSINA, J. P., FARLOW, A. W., MOYES, C. L., DRAKE, J. M., BROWNSTEIN, J. S., HOEN, A. G., SANKOH, O., MYERS, M. F., GEORGE, D. B., JAENISCH, T., WINT, G. R. W., SIMMONS, C. P., SCOTT, T. W., FARRAR, J. J., & HAY, S. I. 2013. The global distribution and burden of dengue. — *Nature*, **496**: 504-507.
- CAUCHEMEZ, S., BESNARD, M., BOMPARD, P., DUB, T., GUILLEMETTE-ARTUR, P., EYROLLE-GUIGNOT, D., SALJE, H., VAN KERKHOVE, M. D., ABADIE, V., GAREL, C., FONTANET, A. & MALLET, H.-P. 2016. Association between Zika virus and microcephaly in French Polynesia, 2013-15: A retrospective study. — *The Lancet*, **387**: 2125-2132.
- Center for Disease Control 2016. How to Protect Yourself. — <http://www.cdc.gov/zika/pregnancy/protect-yourself.html>
- CIANCI, D., HARTEMINK, N. & IBAÑEZ-JUSTICIA, A. 2015. Modelling the potential spatial distribution of mosquito species using three different techniques. — *Int. J. Health Geogr.*, **14**: 10.
- DE CLERCQ, E. M., LETA, S., ESTRADA-PEÑA, A., MADDER, M., ADEHAN, S. & VANWAMBEKE, S. O. 2015. Species distribution modelling for *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) in Benin, West Africa: Comparing datasets and modelling algorithms. — *Prev. Vet. Med.*, **118**: 8-21.
- DENNIS, R. L. H., SHREEVE, T. G. & VAN DYCK, H. 2003. Towards a functional resource-based concept for habitat: A butterfly biology viewpoint. — *Oikos*, **102**: 417-426.
- DENNIS, R. L. H., SHREEVE, T. G. & VAN DYCK, H. 2006. Habitats and resources: The need for a resource-based definition to conserve butterflies. — *Biodivers. Conserv.*, **15**: 1943-1966.
- ESTRADA-PEÑA, A., ALEXANDER, N. & WINT, G. R. W. 2016. Perspectives on modelling the distribution of ticks for large areas: So far so good? — *Parasit. Vectors*, **9**.
- FARAJI, A., EGIZI, A., FONSECA, D. M., UNLU, I., CREPEAU, T., HEALY, S. P. & GAUGLER, R. 2014. Comparative host feeding patterns of the Asian Tiger Mosquito, *Aedes albopictus*, in urban and suburban northeastern USA and implications for disease transmission. — *PLoS Negl. Trop. Dis.*, **8**: e3037.
- FARIA, N. R., AZEVEDO, R. d. S. d. S., KRAEMER, M. U. G., SOUZA, R., CUNHA, M. S., HILL, S. C., THEZE, J., BONSALE, M. B., BOWDEN, T. A., RISSANEN, I., ROCCO, I. M., NOGUEIRA, J. S., MAEDA, A. Y., VASAMI, F. G. d. S., MACEDO, F. L. d. L., SUZUKI, A., RODRIGUES, S. G., CRUZ, A. C. R., NUNES, B. T., MEDEIROS, D. B. d. A., RODRIGUES, D. S. G., NUNES QUEIROZ, A. L., SILVA, E. V. P. d., HENRIQUES, D. F., TRAVASSOS DA ROSA, E. S., DE OLIVEIRA, C. S., MARTINS, L. C., VASCONCELOS, H. B., CASSEB, L. M. N., SMITH, D. d. B., MESSINA, J. P., ABADIE, L., LOURENCO, J., ALCANTARA, L. C. J., LIMA, M. M. d., GIOVANETTI, M., HAY, S. I., DE OLIVEIRA, R. S., LEMOS, P. d. S., OLIVEIRA, L. F. d., DE LIMA, C. P. S., DA SILVA, S. P., VASCONCELOS, J. M. d., FRANCO, L., CARDOSO, J. F., VIANEZ-JUNIOR, J. L. d. S. G., MIR, D., BELLO, G., DELATORRE, E., KHAN, K., CREATORE, M., COELHO, G. E., DE OLIVEIRA, W. K., TESH, R., PYBUS, O. G., NUNES, M. R. T. & VASCONCELOS, P. F. C. 2016. Zika virus in the Americas: Early epidemiological and genetic findings. — *Science*, **352**: 345-349.

- FAUCI, A. S. & MORENS, D. M. 2012. The perpetual challenge of infectious diseases. — *N. Engl. J. Med.*, **366**: 454-461.
- FAUCI, A. S. & MORENS, D. M. 2016. Zika Virus in the Americas – Yet another arbovirus threat. — *N. Engl. J. Med.*, **374**: 601-604.
- FAVORETTO, S., ARAUJO, D., OLIVEIRA, D., DUARTE, N., MESQUITA, F., ZANOTTO, P. & DURIGON, E. 2016. First detection of Zika virus in neotropical primates in Brazil: A possible new reservoir (No. biorxiv; 049395v1).
- GARCIA-MARTÍ, I., ZURITA-MILLA, R., SWART, A., VAN DEN WIJNGAARD, K. C., VAN VLIET, A. J. H., BENNEMA, S. & HARMS, M. 2017. Identifying environmental and human factors associated with tick bites using volunteered reports and frequent pattern mining: Environmental and human factors associated with tick bites. — *Trans. GIS*, **21** (1): 277-299.
- GRARD, G., MOUREAU, G., CHARREL, R. N., HOLMES, E. C., GOULD, E. A. & DE LAMBALLERIE, X. 2010. Genomics and evolution of *Aedes*-borne flaviviruses. — *J. Gen. Virol.*, **91**: 87-94.
- GUBLER, D. J. 2014. Dengue viruses: Their evolution, history and emergence as a global public health problem. — In: GUBLER, D. J., OOI, E. E., VASUDEVAN, S. & FARRAR, J. (Eds.), *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*. Wallingford, CABI, pp. 1-29.
- HARTEMINK, N., VANWAMBEKE, S. O., PURSE, B. V., GILBERT, M. & VAN DYCK, H. 2015. Towards a resource-based habitat approach for spatial modelling of vector-borne disease risks: Resource-based habitats for vector-borne diseases. — *Biol. Rev.*, **90**: 1151-1162.
- HERBRETEAU, V., SALEM, G., SOURIS, M., HUGOT, J.-P. & GONZÁLEZ, J.-P. 2007. Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: From early promises to lasting frustration. — *Health Place*, **13**: 400-403.
- JOHANSSON, M. A., MIER-Y-TERAN-ROMERO, L., REEFHUIS, J., GILBOA, S. M. & HILLS, S. L. 2016. Zika and the risk of microcephaly. — *N. Engl. J. Med.*, **375**: 1-4.
- JONES, K. E., PATEL, N. G., LEVY, M. A., STOREYGARD, A., BALK, D., GITTLEMAN, J. L. & DASZAK, P. 2008. Global trends in emerging infectious diseases. — *Nature*, **451**: 990-993.
- JONES, B. A., GRACE, D., KOCK, R., ALONSO, S., RUSHTON, J., SAID, M. Y., MCKEEVER, D., MUTUA, F., YOUNG, J., McDERMOTT, J. & PFEIFFER, D. U. 2013. Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change. — *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **110**: 8399-8404.
- KITRON, U. 1998. Landscape ecology and epidemiology of vector-borne disease: Tools for spatial analysis. — *J. Med. Entomol.*, **35**: 435-445.
- KRAEMER, M. U., SINKA, M. E., DUDA, K. A., MYLNE, A. Q., SHEARER, F. M., BARKER, C. M., MOORE, C. G., CARVALHO, R. G., COELHO, G. E., VAN BORTEL, W., HENDRICKX, G., SCHAFFNER, F., ELYAZAR, I. R., TENG, H.-J., BRADY, O. J., MESSINA, J. P., PIGOTT, D. M., SCOTT, T. W., SMITH, D. L., WINT, G. W., GOLDING, N., HAY, S. I. 2015. The global distribution of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus*. — *eLife*, **4**.
- MADDER, M., WALKER, J. G., VAN ROOYEN, J., KNOBEL, D., VANDAMME, E., BERKVEN, D., VANWAMBEKE, S. O. & DE CLERCQ, E. M. 2012. e-Surveillance in animal health: Use and evaluation of mobile tools. — *Parasitology*, **139**: 1831-1842.
- MAY, J. M. 1952. History, Definition, and Problems of Medical Geography: A General Review. — Washington, International Geographic Union, XVIIth International Geographical Congress.

- McMICHAEL, A. J. 2004. Environmental and social influences on emerging infectious diseases: Past, present and future. — *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, **359**: 1049-1058.
- MUSSO, D. & GUBLER, D. J. 2016. Zika Virus. — *Clin. Microbiol. Rev.*, **29**: 487-524.
- OLIVA, C. F., DAMIENS, D. & BENEDICT, M. Q. 2014. Male reproductive biology of *Aedes* mosquitoes. — *Acta Trop.*, **132**: S12-S19.
- OSTFELD, R., GLASS, G. & KEESING, F. 2005. Spatial epidemiology: An emerging (or re-emerging) discipline. — *Trends Ecol. Evol.*, **20**: 328-336.
- PAUPY, C., DELATTE, H., BAGNY, L., CORBEL, V. & FONTENILLE, D. 2009. *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: From the darkness to the light. — *Microbes Infect.*, **11**: 1177-1185.
- PAVLOVSKY, E. 1966. Natural Nidality of Transmissible Diseases in Relation to the Landscape Epidemiology of Zooanthroponoses. — Moscow, Peace publishers.
- PONLAWAT, A. & HARRINGTON, L. C. 2005. Blood feeding patterns of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Thailand. — *J. Med. Entomol.*, **42**: 844-849.
- PURSE, B. V. & GOLDING, N. 2015. Tracking the distribution and impacts of diseases with biological records and distribution modelling. — *Biol. J. Linn. Soc.*, **115**: 664-677.
- RANDOLPH, S. E. 2001. The shifting landscape of tick-borne zoonoses: Tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis in Europe. — *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, **356**: 1045-1056.
- REISEN, W. K. 2010. Landscape epidemiology of vector-borne diseases. — *Ann. Rev. Entomol.*, **55**: 461-483.
- REITER, P. & SPRENGER, D. 1987. The used tire trade: A mechanism for the worldwide dispersal of container breeding mosquitoes. — *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, **3**: 494-501.
- REITER, P., LATHROP, S., BUNNING, M., BIGGERSTAFF, B., SINGER, D., TIWARI, T., BABER, L., AMADOR, M., THIRION, J., HAYES, J., SECA, C., MENDEZ, J., RAMÍREZ, B., ROBINSON, J., RAWLINGS, J., VORNDAM, V., WATERMAN, S., GUBLER, D., CLARK, G. & HAYES, E. 2003. Texas lifestyle limits transmission of dengue virus. — *Emerg. Infect. Dis.*, **9**: 86-89.
- RITCHIE, S. A. 2014. Dengue vector bionomics: Why *Aedes aegypti* is such a good vector. — In: GUBLER, D. J., OOI, E. E., VASUDEVAN, S. & FARRAR, J. (Eds.), *Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever*. Wallingford, CABI, pp. 455-480.
- ROGERS, D. J., RANDOLPH, S. E., SNOW, R. W. & HAY, S. I. 2002. Satellite imagery in the study and forecast of malaria. — *Nature*, **415**: 710-715.
- SCOTT, T. W. & TAKKEN, W. 2012. Feeding strategies of anthropophilic mosquitoes result in increased risk of pathogen transmission. — *Trends Parasitol.*, **28**: 114-121.
- SORRE, M. 1933. Complexes pathogènes et géographie médicale. — *Ann. Géographie*, **42**: 1-18.
- Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases 2009. *Dengue: Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention, and Control*. — Geneva, World Health Organization.
- STONE, C. M. & FOSTER, W. A. 2013. Plant-sugar feeding and vectorial capacity. — In: TAKKEN, W. & KOENRAADT, C. J. M. (Eds.), *Ecology of Parasite-Vector Interactions*. Wageningen, Wageningen Academic Publishers, pp. 35-79.
- VAN DYCK, H. 2012. Changing organisms in rapidly changing anthropogenic landscapes: The significance of the “Umwelt”-concept and functional habitat for animal conservation: Perception and habitat in anthropogenic landscapes. — *Evol. Appl.*, **5**: 144-153.

- VANWAMBEKE, S. O., BENNETT, S. N. & KAPAN, D. D. 2011. Spatially disaggregated disease transmission risk: Land cover, land use and risk of dengue transmission on the island of Oahu. — *Trop. Med. Int. Health*, **16**: 174-185.
- VANWAMBEKE, S. O., SOMBOON, P., HARBACH, R. E., ISENSTADT, M., LAMBIN, E. F., WALTON, C. & BUTLIN, R. K. 2007. Landscape and land cover factors influence the presence of *Aedes* and *Anopheles* larvae. — *J. Med. Entomol.*, **44**: 133-144.
- VERHASSELT, Y. 1993. Geography of health: Some trends and perspectives. — *Soc. Sci. Med.*, **36**: 119-123.
- WILCOX, B. A., AGUIRRE, A. A., DASZAK, P., HORWITZ, P., MARTENS, P., PARKES, M., PATZ, J. A. & WALTNER-TOEWS, D. 2004. EcoHealth: A transdisciplinary imperative for a sustainable future. — *EcoHealth*, **1**: 3-5.
- World Health Organisation 2016. WHO statement on the first meeting of the International Health Regulations (2005) (IHR 2005) Emergency Committee on Zika virus and observed increase in neurological disorders and neonatal malformations (WHO statement).
- ZINSSTAG, J., SCHELLING, E., WALTNER-TOEWS, D. & TANNER, M. 2011. From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. — *Prev. Vet. Med.*, **101**: 148-156.

Klasse voor Natuur-en Geneeskundige Wetenschappen

Classe des Sciences naturelles et médicales

Are the SDGs (Sustainable Development Goals) Fit for Purpose?*

by

Jan VANDEMOORTELE**

KEYWORDS. — Development; Sustainability; Inequality; Universality; MDGs.

SUMMARY. — Of all the competing goals world leaders could have agreed on for the year 2030, reducing inequality and addressing sustainability should have come first. They make all other goals so much harder to achieve, if not impossible. However, the SDGs dodge the twin challenge of our time. As with the MDGs (Millennium Development Goals), they represent a global deal rather than a universal agenda. Moreover, most verifiable SDG targets are not dissimilar from the MDGs, *e.g.* poverty, hunger and child mortality. A distinct aspect is that their level of ambition is inversely related to the level of specificity: the goals are bold but their scope is greatly diminished by the fuzziness of the targets and the poor choice of indicators. In short, the SDGs are not fit for purpose. Sustainable development remains, in the realm of current multilateralism, an idea whose time has not yet come.

TREFWOORDEN. — Ontwikkeling; Duurzaamheid; Ongelijkheid; Universaliteit; MDG's.

SAMENVATTING. — *Zijn de SDG's (Duurzame Ontwikkelingsdoelstellingen) geschikt voor hun doel?* — SDG's zijn doelstellingen van wereldleiders voor 2030. Bij het vaststellen ervan hadden de aanpak van ongelijkheid en het streven naar duurzaamheid prioritair moeten zijn. Zonder die prioriteiten zijn alle andere objectieven moeilijk, zoniet onmogelijk, te realiseren. De SDG's ontwijken echter de ware uitdagingen van onze tijd. Zoals de MDG's (Millenniumdoelstellingen), zijn ze een wereldwijde deal i.p.v. een universele agenda. Bovendien zijn de meetbare doelstellingen van de SDG's gelijkaardig aan die van de MDG's, zoals armoede, honger en kindersterfte. De ambities van de SDG's zijn echter omgekeerd evenredig aan de duidelijkheid ervan. De doelstellingen zijn stoutmoedig maar hun reikwijdte en ambitie worden beknot door wollige streefcijfers en gebrekkige indicatoren. Kortom, de SDG's zijn niet geschikt voor het doel waarvoor ze werden ontworpen. Op multilateraal vlak blijft duurzame ontwikkeling een idee is wiens tijd nog niet is aangebroken.

* Paper presented at the Academic Opening Session held on 27 October 2016. Text received on 17 January 2017 and submitted to peer review. Final version approved by the reviewers received on 27 April 2017.

** Independent researcher.

MOTS-CLÉS. — Développement; Durabilité; Inégalités; Universalité; OMD.

RÉSUMÉ. — *Les ODD (Objectifs de Développement durable) sont-ils adaptés au défi de notre temps?* — Parmi les objectifs auxquels les dirigeants mondiaux pourraient s'entendre pour l'an 2030, la réduction des inégalités et le développement durable devraient être prioritaires, car ils rendent tous les autres objectifs beaucoup plus difficiles à atteindre, sinon impossibles. Cependant, les ODD esquivent le double défi de notre temps. Comme pour les OMD (Objectifs du Millénaire pour le Développement), ils représentent un accord global plutôt qu'un agenda universel. De plus, la plupart des objectifs mesurables des ODD ne sont pas différents des OMD, c.-à-d. la pauvreté, la faim et la mortalité infantile. Un aspect distinct des ODD est que les objectifs sont audacieux, mais leur portée et leur ambition diminuent considérablement par le flou des cibles et le choix des indicateurs. Bref, les ODD ne sont pas adaptés pour atteindre leurs objectifs. Dans le domaine multilatéral, le développement durable est une idée dont le temps n'est pas encore venu.

*

* *

The question is not whether the Sustainable Development Goals (SDGs) represent a better framework than their predecessor — the Millennium Development Goals (MDGs) — but whether they are good enough to meet the two-fold challenge of our time: sustainability and inequality. As these defining challenges are global in scope, the SDGs must be truly universal in scope, by embodying a 'one-world' agenda. This article examines whether the SDGs address sustainability, inequality and universality in a manner that is fit for purpose. In order to establish the defining challenges of our time, we first need to review the results of the MDGs.

MDGs' Outcome

In the field of human development, the world has made respectable progress over the past twenty-five years (United Nations 2015). One of the most striking statistics is that there were some eighteen thousand fewer cases of child mortality per day in 2015 than in 1990, notwithstanding the significant rise in the world population over that period. About three quarters of all births are now attended by skilled health personnel, leading to a substantial reduction in maternal mortality. Nearly as many girls as boys are enrolled in primary school. Malnutrition (underweight) has decreased from one-in-four children to one-in-seven. The incidence of diseases such as measles, malaria and polio has fallen drastically. Worldwide, the year 2015 saw fewer than one hundred cases of polio, down from over three hundred thousand in 1990. New HIV infections have declined sharply and an estimated fourteen million people living with AIDS now receive anti-

retroviral therapy. All pertinent chemicals have been phased out to close the ozone hole in the atmosphere.

We hasten to add that no firm conclusions can be drawn about the role played by the MDGs in these stories of success. For that, we need the counterfactual scenario, as well as a clear attribution of the progress to the MDGs. Both are missing. To state, for example, that “The MDGs helped to lift more than one billion people out of extreme poverty” (United Nations 2015, p. 3) is improper because it cannot be substantiated or tested by scientific analysis. This is not to say that the MDGs did not make a difference. Valid arguments have been, and can be, made in their favour. It simply means that their contribution cannot be quantified in a precise and scientific manner.

Regretfully, several areas have witnessed little or no progress, especially with regard to the environment. Deforestation remains excessively high. Although decelerating, it makes the world annually lose an area of forest that is roughly equivalent to twice the surface of Belgium. Overfishing continues unabated. Ecosystems and oceans are under severe stress. Several species among amphibians, corals, mammals and birds are at risk of extinction, jeopardizing the planet’s biodiversity. Greenhouse gas emissions have soured by an estimated 50 % between 1990 and 2015 (United Nations 2015).

Whilst the world has made significant progress during the MDG era, none of the numerical targets were met globally. Using traffic-light colours, green can be assigned to the MDGs related to poverty, hunger, child mortality, maternal health, drinking water, HIV/Aids, malaria and TB. This assessment is based on the view that target setting is not only about achieving but also about striving. Global progress in these domains has been more than respectable, even though the numerical targets were not met or data to support that claim are not available or sufficiently solid.

The colour orange can be applied to the goals about basic education and gender equality, where progress could — and should — have been much faster. One in ten children still lacks access to primary school and the quality of education often remains sub-standard. Gender biases remain embedded in virtually all societies and shape people’s perceptions and aspirations from an early age (BIAN *et al.* 2017).

The colour red must be given to the goal on global partnership for development — a goal mostly directed at high-income countries. Foreign aid has stagnated at around 0.3 % of their combined national income, considerably below the agreed target of 0.7 %. Also, the global trading system remains biased in favour of developed countries — mainly through international trade agreements that are laden with provisions that have nothing to do with trade but extend into other policy areas, especially patent law and investor protection. Last but not least, red applies to the goal regarding the environment, where the world has moved in the opposite direction than what was intended, *e.g.* overexploitation of marine fish stocks, loss of biodiversity, rising emissions of carbon dioxide.

In sum, the outcome with the MDGs shows considerable progress in terms of human development but grave threats for the environment. The overall picture can be summarized by the one-liner ‘Progress for people, regress for the planet’. Hence, the ‘S’ in the initials SDGs is fully justified.

Sustainability

However, the successor to the MDGs fails to address sustainability in earnest. It is remarkable that the goal to ‘Take urgent action to combat climate change’ — ranks only in thirteenth position. Ranking does matter because it gauges the relative importance of the objective. Given that climate change is not among the top three priorities — which are occupied by the MDG-like issues of poverty, hunger and child mortality — raises the question whether world leaders really have the courage to address it as a top priority. More important than ranking is that the content of the goal 13 is weak and disappointing. It lacks specifics and clarity, as well as a sense of urgency. The first three targets read as follows: “13.1 Strengthen resilience and adaptive capacity to climate-related hazards”; “13.2 Integrate climate change measures into national planning”; and “13.3 Improve education on climate change mitigation”. Apart from the fact that none of these targets is verifiable, it is a moot question whether resilience, planning and education can be considered as ‘urgent action’.

It may seem surprising but the SDGs do not set any verifiable target regarding climate change. The only numerical target in this domain refers to climate finance, not to climate change. Target 13.a indicates that “Developed-country parties are to mobilize jointly \$100 billion annually by 2020 from all sources to mitigate climate change in development countries”. Its interpretation is now a bone of contention between developed and developing countries. Among the one hundred and sixty-nine SDG targets, only two somewhat relate to environmental sustainability in a verifiable manner. They include target 12.3: “By 2030, halve per capita global food waste at the retail and consumer levels” and target 14.5: “By 2020, conserve at least 10 percent of coastal and marine areas”. The others use fuzzy language and omit the three essential components of a verifiable target, namely conceptual clarity, a numerical outcome and a specific deadline.

Inequality

Besides being unsustainable, progress made across the world has not been equitable either. Due to phenomenal economic growth in emerging economies, between-country inequality has probably decreased in recent years, although this is hard to measure with any degree of accuracy. However, it is within-country inequality that really matters for people, and that is where most countries have

witnessed an increase over the past decades. Invariably, people perceive inequality in terms of disparities within society, not between societies. Surveys show that people relate inequality vis-à-vis individuals within their society and community, not in comparison with the average standard of living in faraway countries. Also, within-country inequality is most relevant for domestic policy-making.

A growing body of evidence indicates that income disparities within countries are widening. No matter how it is measured, it is no longer possible to dispute the evidence that inequalities are on the rise in most countries. PALMA (2011) found that about 80 % of the world population live in regions where the median country has a Gini coefficient of close to 0.40, which indicates high inequality. China is one of the front runners in terms of rising inequality. LIU (2011) documented that China's Gini coefficient soared from the moderate level of about 0.30 in the early 1980s to the high level of about 0.50 in 2010. Seldom has a country witnessed such a steep rise in inequality over such a short period of time. Inequality has risen in other countries too. Over the past thirty years, it has increased in seventeen out of twenty-two OECD member states (Organisation for Economic Co-operation and Development 2011). The gulf between the rich and the rest has widened further since the onset of the financial crisis. The OECD states, "Inequality has increased by more over the past three years to the end of 2010 than in the previous twelve" (Organisation for Economic Co-operation and Development 2013, p. 1). In its latest update, the OECD wrote, "the average Gini coefficient of disposable income reached 0.318 in 2013/14, only marginally higher than in 2007, but the highest level on record since the mid-1980s" (Organisation for Economic Co-operation and Development 2016, p. 1).

Evidence regarding non-money-metric aspects of development, such as education, health and nutrition, also shows that there has been a systemic bias against the least well-off people (MINUJIN & DELAMONICA 2003, MOSER *et al.* 2005, REIDPATH *et al.* 2009, WILKINSON & PICKETT 2010). Thus, to be more accurate, the one-liner mentioned earlier to summarize the MDGs' outcome needs the insertion of the adjective 'better-off': 'Progress for better-off people, regress for the planet'. Indeed, data show that, in most countries, progress has bypassed the people at the bottom of the social ladder.

Extreme inequality is harmful in many ways, not merely economically but also politically and psychosocially speaking. Stiglitz observed, "economic inequality inevitably leads to political inequality" (STIGLITZ 2015, p. 9). Many a democracy is showing signs of a hollowing-out, with low membership of political parties, low voter turnout, and high electoral volatility. Unexpected wins become more frequent, especially for antidemocratic candidates who delegitimize opponents, attack civil liberties, and disregard checks and balances. High inequality also compromises the principle of equal access to essential public goods such as education, health, public transport, and an independent judicial system. This leads to more economic, social and racial stratification and deepens existing divisions within society. The issue is not that some individuals earn more

or have more than others, it is that high inequality jeopardizes the democratic tenet that ‘all people are created equal’. Indeed, extreme inequality is at odds with the principle of equal treatment of citizens (SWIFT 2001). Countless citizens across the world perceive a “government of the 1 percent, by the 1 percent, and for the 1 percent”, as Stiglitz put it (STIGLITZ 2012, p. 99). Extreme inequality also corrodes societal values of empathy and tolerance.

Inequality is frequently seen as an ideological matter, whereas poverty and growth are considered as technical issues. This, of course, is incorrect; they all have technical and political implications. Those on the right on the political spectrum usually dismiss concerns about inequality as ‘politics of envy’, believing that those who are less well-off are simply envious of their wealth and resentful of their success in life. For those on the left on the political scale, high inequality stems from excessive greed. Both views are over simplistic. Sandel expressed a more nuanced view: “If the only advantage of affluence were the ability to buy yachts, sports cars, and fancy vacations, inequalities of income and wealth would not matter very much. But as money comes to buy more and more — political influence, good medical care, a home in a safe neighborhood rather than in a crime-ridden one, access to elite schools rather than failing ones — the distribution of income and wealth looms larger and larger” (SANDEL 2013, p. 8). In other words, high inequality undermines the fundamental tenets of democracy and meritocracy.

Despite the evidence that inequality is rising, and that it is harmful for the economy and that it undermines the democratic system, the SDGs pay only superfluous attention to it. As with climate change, the goal about inequality does not rank among the top priorities. One finds it in tenth position, which suggests that it is, at best, of second-tier importance. In addition, it does not quite address inequality. Target 10.1 aims to “progressively achieve and sustain, by 2030, income growth of the bottom 40 % of the population at a rate higher than the national average”. At first glance, it seems to contain the three elements of a verifiable target: conceptually clear, numerical, and specific deadline. However, it does not address inequality. It cannot be addressed by focusing on one segment of the population. To truly address inequality, one must encompass the entire income spectrum, not just the poorest segment. As Atkinson argued, “we need to consider the distribution as a whole” (ATKINSON 2015, p. 183).

Meeting target 10.1 does not necessarily imply a decrease in inequality. The bottom 40 % may see faster income growth but if caused by transfers from the next 50 %, while leaving the top 10 % unaffected, then the country will see an increase in inequality. The paradox will be that inequality will increase despite meeting target 10.1. This apparent contradiction stems from the fact that the target confuses inequality with poverty. Already, some countries are observing a hollowing-out of the middle class (TEMIN 2017) and a virtual secession of the extremely wealthy from society. This remains unaddressed by the SDGs. In other words, target 10.1 has little or no relevance for reducing extreme inequality.

The SDGs' failure to adequately address inequality is not due to a technical mistake. It is driven by a political narrative that dodges or even contests that extreme inequality is the prime challenge of our time. Political correctness demanded that the SDGs focus on extreme poverty rather than on extreme inequality. In its stead, the slogan 'Leave No One Behind' was launched to mask the world leaders' inability to accept that inequality is one of the most pressing challenges the world faces. Shiller, Nobel laureate, put it quite strongly, "The most important problem we are facing now today, I think, is rising inequality" (quoted by DORLING 2014, p. 1). The World Economic Forum rates "rising income and wealth disparity as the most important trend in determining global developments over the next 10 years" (World Economic Forum 2017, p. 6).

Some are making a big deal of the reported decline in inequality in a few Latin American countries (LÓPEZ-CALVA & LUSTIG 2010). However, it must be kept in mind that these countries remain highly unequal. It would be mistaken to interpret a decline in their Gini coefficient by a few percentage points as a sign that they have turned into equitable societies. Their Gini coefficient is still stratospherically high, often exceeding the level of 0.50. The reality is that most Latin American countries remain extremely unequal, perhaps just a touch less so. Addressing extreme inequality remains a prime challenge for them too.

Universality

Apart from failing to cover the twin challenge of sustainability and inequality, the SDGs also fall short of embodying a truly universal agenda. Just like the MDGs, they exemplify a global deal between the North and the South, with a series of verifiable performance targets for developing countries and a few vaguely-formulated delivery targets for developed nations. True universality would mean that the agenda transcends the artificial North-South divide and comprises performance targets for all countries, not just for developing countries. However, the SDGs still embody the old donor-centric view that development is something that essentially happens in the South.

Obviously, not all domains of a global agenda can be universal in scope. Different aspects will apply differently to different categories of countries. Universality, however, requires that, on balance, the SDGs would apply to all countries in a similar manner. Yet they fail to achieve balance. Most verifiable targets relate to developing countries. The SDGs comprise very few performance targets for rich countries that are verifiable. Most are formulated in a vague and fuzzy way so that they remain unverifiable. The SDGs cannot be considered as representing a universal agenda that applies to all categories of countries in a similar way.

This point is best illustrated by goals 1 and 2. It is obvious that eradicating extreme poverty and ending hunger will not be as challenging for high- and most middle-income countries as for the least developed nations. Yet, these goals

could have been formulated differently to embody universality. For instance, had a numerical target been included for overweight and obesity, goal 2 would have been universal in scope because they represent growing public health concerns in virtually all countries — both rich and poor. If trends continue, almost half of the world's population will be overweight or obese by 2030, imposing enormous costs on people, societies and economies (JAMES & MCPHERSON 2017). The World Health Organization reported that the global prevalence of diabetes has nearly doubled since 1980, a trend largely driven by the unrelenting rise in overweight and obesity (World Health Organization 2016). Nonetheless, overweight and obesity are not mentioned by the SDGs, which is almost beyond belief.

Breastfeeding is another area omitted by the SDGs, although it contributes significantly to goals related to education, health and nutrition, including overweight and diabetes. Noteworthy is that a global target for breastfeeding already existed when the SDGs were formulated. It aims to “increase the rate of exclusive breastfeeding in the first 6 months up to at least 50 % by 2025” (World Health Organization 2012, p. 60). It is not entirely clear why it was not included among the SDGs, but it is probably no coincidence that breastfeeding is an area where high-income countries tend to lag poorer ones (VICTORIA *et al.* 2016).

These omissions are not a simple oversight but stem from the fact that developed nations are not quite ready to commit themselves to specific, numerical and time-bound targets. Therefore, it was politically more convenient to focus the SDGs on ending hunger than to set verifiable targets for overweight or breastfeeding.

Not Fit for Purpose

In conclusion, the claim that the SDGs represent a universal agenda that covers inequality and addresses sustainability is untenable. Yet, it is frequently reiterated. The thirty-five-pages document that spells out the 2030 Agenda claims not less than nine times that the SDGs are universal (United Nations 2015). Kahneman explained how easy it is for reality to get misinterpreted and misconstrued. He wrote, “A reliable way to make people believe in falsehoods is frequent repetition, because familiarity is not easily distinguished from truth” (KAHNEMAN 2011, p. 62). The widespread claim that the SDGs adequately address sustainability, inequality and universality stems more from repetition than from their content.

A distinct aspect of the SDGs is the inverse relationship between specificity and ambition. The goals sound bold but most targets are fuzzy and many indicators are inapt. Such fuzziness and inaptness diminish the level of ambition of the SDGs, as they inhibit objective measurability. The few verifiable targets contained in the SDGs are not dissimilar from the MDGs. In short, if the MDGs were simple-minded, then the SDGs are definitely muddle-headed. The sad but

inevitable conclusion is that, in the realm of multilateral affairs, sustainable development remains an idea whose time has not come yet.

REFERENCES

- ATKINSON, A. 2015. *Inequality. What Can Be Done?* — Cambridge, Harvard University Press, xi + 384 pp.
- BIAN, L., LESLIE, S. & CIMPIAN, A. 2017. Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children's interests. — *Science*, **355** (6323): 389-391.
- DORLING, D. 2014. *Inequality and the 1%*. — London, Verso, 234 pp.
- JAMES, W. & MCPHERSON, K. 2017. The costs of overweight. — *The Lancet Public Health* [[http://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667\(17\)30068-3/full-text](http://www.thelancet.com/journals/lanpub/article/PIIS2468-2667(17)30068-3/full-text)].
- KAHNEMAN, D. 2011. *Thinking, Fast and Slow*. — London, Penguin Books, 499 pp.
- LIU, M. 2011. *Understanding the Pattern of Growth and Equity in the People's Republic of China*. — Tokyo, Asian Development Bank Institute, 26 pp.
- LÓPEZ-CALVA, L. F. & LUSTIG, N. (Eds.) 2010. *Declining Inequality in Latin America. A Decade of Progress?* — Washington, DC, Brookings Institution Press, 253 pp.
- MINUJIN, A. & DELAMONICA, E. 2003. Mind the Gap! Widening child mortality disparities. — *Journal of Human Development*, **4** (3): 396-418.
- MOSER, K., LEON, D. & GWATKIN, D. 2005. How does progress towards the child mortality Millennium Development Goal affect inequalities between the poorest and the least poor? Analysis of demographic and health survey data. — *British Medical Journal*, **331**: 1180-1183.
- Organisation for Economic Co-operation and Development 2011. *Divided We Stand: Why Inequality Keeps Rising*. — Paris, OECD, 386 pp.
- Organisation for Economic Co-operation and Development 2013. *Crisis Squeezes Income and Puts Pressure on Inequality and Poverty*. — Paris, OECD, 8 pp. [<http://www.oecd.org/els/soc/OECD2013-Inequality-and-Poverty-8p.pdf>].
- Organisation for Economic Co-operation and Development 2016. *Income Inequality Remains High in the Face of Weak Recovery*. — Paris, OECD, 6 pp. [<http://www.oecd.org/social/OECD2016-Income-Inequality-Update.pdf>].
- PALMA, J. 2011. Homogeneous middles vs. heterogeneous tails, and the end of the 'Inverted-U': It's all about the share of the rich. — *Development and Change*, **42** (1): 87-153.
- REIDPATH, D., MOREL, C., MECASKEY, J. & ALLOTEY, P. 2009. The Millennium Development Goals fail poor children: The case for equity-adjusted measures. — *PLoS Med.*, **6** (4): e1000062 [<http://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1000062>].
- SANDEL, M. 2013. *What Money Can't Buy. The Moral Limits of Markets*. — New York, Farrar, Straus and Giroux, viii + 244 pp.
- STIGLITZ, J. 2012. *The Price of Inequality*. — London, Allen Lane, xxxi + 414 pp.
- STIGLITZ, J. 2015. *The Great Divide. Unequal Societies and What We Can Do about them*. — New York, W. W. Norton & Co, xxvi + 428 pp.
- SWIFT, A. 2001. *Political Philosophy. A Beginners' Guide for Students and Politicians*. — Cambridge, MA, Polity Press, xi + 194 pp.

- TEMIN, P. 2017. *The Vanishing Middle Class. Prejudice and Power in a Dual Economy.* — Cambridge, MA, The MIT Press, 256 pp.
- United Nations 2015. *The Millennium Development Goals Report 2015.* — New York, UN, 72 pp.
- United Nations 2015. *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.* — New York, UN, 35 pp.
- VICTORA, C. G., BAHL, R., BARROS, A. J. D., FRANCA, G. V. A., HORTON, S., KRAVECEC, J., MURCH, S., SANKAR, M. J., WALKER, N. & ROLLINS, N. C. 2016. Breastfeeding in the 21st century: Epidemiology, mechanisms, and lifelong effect. — *The Lancet*, **387** (10017): 475-490.
- WILKINSON, R. & PICKETT, K. 2010. *The Spirit Level. Why Equality is Better for Everyone.* — London, Penguin Books, xvii + 347 pp.
- World Economic Forum 2017. *The Global Risks Report 2017.* — Geneva, WEF, 70 pp.
- World Health Organization 2012. *Comprehensive implementation plan on maternal, infant and young child nutrition. Resolution WHA65.6.* — Geneva, WHO, 126 pp.
- World Health Organization 2016. *Global Report on Diabetes.* — Geneva, WHO, 86 pp.

Clam Farming Risks in Thai Binh Province, Vietnam: Impacts and Causes*

by

Thi Thu Hang NGO^{1, 2}, Huu Cuong TRAN², Hossein AZADI^{1, 3, 4}
& Philippe LEBAILLY¹

KEYWORDS. — Farmer's Livelihood; Farming Risk; Market; Aquaculture; Thai Binh Province.

SUMMARY. — Large part of the world population are seeking livelihood from coastal aquaculture, and have been experiencing increased difficulties because of the poor development plan for coastal areas by governments, polluted water discharges from inland agricultural and industrial activities, and increasing negative impacts of climate changes. This study explores risks faced by the clam farming sector in Thai Binh province, as well as their causes and impacts on farmers. Our survey has revealed that there have been several important risks in clam production which can be grouped in terms of nature of origin: human-caused and natural ones. These risks have impacted on all relevant aspects of clam farming: production, market and financial sector. They are caused by several factors, including extreme weather events, waste water discharges, production techniques, market or financial access. Of these risks, human-caused ones are more severe and more difficult for farmers to cope with (than natural ones). Therefore, the governments are suggested to play more effective roles in coordinating and managing the different activities of relevant stakeholders (such as inland farming and industrial producers, better inland discharge schemes, more flexible credit system functions) so that human-caused risks for clam farming could be minimized.

1. Introduction

Approximately 60 % of the global population live and seek their livelihood from ocean-aquaculture production and are currently experiencing difficulties because of poor development plans for coastal areas, pollutive discharges from

* Poster presented at the Multidisciplinary Workshop "Vulnerable Coastal Areas" held on 10 December 2015. Text received on 13 February 2016 and submitted to peer review. Final version, approved by the reviewers, received on 10 February 2017.

¹ Economics & Rural Development, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liège, passage des Déportés, 2, B-5030 Gembloux (Belgium).

² Faculty of Accounting and Business Management, Vietnam National University of Agriculture, Trâu Quy, Gia Lam District, Hanoi 100000 (Vietnam).

³ Department of Geography, Ghent University, Krijgslaan 281, B-9000 Ghent (Belgium).

⁴ Centre for Environmental Sciences, Hasselt University, Agoralaan building D, B-3590 Diepenbeek (Belgium).

inland agricultural and industrial activities, and the increasingly negative impacts of climate change (DOUKAKIS 2005). Vietnam, with its long coastline (over 3,260 km) and numerous estuaries (one hundred and twelve in total) was ranked eighteenth in the 2015 World Risk Index, with a vulnerability index of 51 % (GARSCHAGEN *et al.* 2016).

Vietnamese aquaculture has been observed with an annual growth rate of 5-7 % for the last ten years, in terms of volume and value. The aquaculture sector has contributed significantly to social security (*i.e.*, labour absorption) and national economy (CAO 2012). In 2014, this sector gained more than US\$7,800 million from exports (TRAN 2017).

Most studies in Vietnamese aquaculture have been done in the south, focusing on major aquatic animal production such as shrimp (BUSH *et al.* 2010), catfish (LE 2011), or other fish production (ARMITAGE & MARSCHKE 2013, PUCHER *et al.* 2015). Yet, no comprehensive research has been done on clam production, especially in the northern coastal areas while clam production has been remarkably developed for the last decades (BUI & TRAN 2013).

This study focuses on the clam [1]* production in the Thai Binh province — the largest area of clam production in the north and north-central coastal region of Vietnam. It aims to answer two major research questions: (1) What are the risks that clam farmers have been experiencing?; (2) What are the causes and the impacts of these risks on the local clam production and farmer's livelihood?

2. Literature Review

2.1. RISK AND UNCERTAINTY

Researchers often make a distinction between “risk”, which implies knowledge of numerical probability of loss that affects an individual or a specific group of farmers, and “uncertainty”, which implies an outcome that is uncertain and unknown in probabilities (AIMIN 2010, McINTOSH 2008). However, other researchers have argued that a distinction between risk and uncertainty is not operative because in most cases, probabilities are very rarely known and therefore, they are just as subjective beliefs (OECD 2009). There is a combination between these two definitions, in which risk is uncertainty that involves probability of economic losses, possible harm to human health, repercussions that affect resources (irrigation, credit), and other types of events that affect individual welfare. In other words, uncertainty is necessary for risk to occur, but does not always lead to a risky situation (HARWOOD *et al.* 1999). Despite a parallel existence of these two perspectives, the distinction between risk and uncertainty

* Numbers in brackets [] refer to the notes, p. 76.

still blurs and varies somewhat depending on the sector. In general, the definitions of risk and uncertainty incorporate a concept of: (1) uncertainty of outcome; (2) probability or likelihood; and (3) consequence or impact. Therefore, “risk” is the potential for realization of undesirable, adverse consequences to production, human life or environment (BONDAD-REANTASO *et al.* 2008).

2.2. AGRICULTURE RISK CLASSIFICATION

Because of differences in risk definitions, there are many standpoints for risk classifications in general and agriculture risks in particular. HUIRNE *et al.* (2000) and HARDAKER *et al.* (2004) distinguished two major types of risk in agriculture. First, business risks which include production, market, institutional and personal risks, and secondly, financial risks which result from different methods of financing a farm business. MUSSER & PATRICK (2002) defined five major sources of risk in agriculture based on its causes: (1) production risk; (2) market risk; (3) institutional risk; (4) human risk; (5) financial risk. OECD (2009) classified agriculture risks into four groups, encompassing (1) production risk; (2) market risk; (3) financial risk; (4) institutional/legal risk. Meanwhile, researchers also use the level of risk impact to divide agriculture risks into three layers: (1) micro (idiosyncratic) risk affecting an individual or household; (2) meso (covariant) risk affecting households or communities; (3) macro (systemic) risk affecting regions or nations. However, the borderline between the different types of risk is somewhat blurred since farmers might suffer from a combination of risks at the same time because these risks are interdependent and/or intercorrelated.

2.3. AQUACULTURE RISK

Aquaculture is facing similar risks of agriculture in general but further with those related to aquaculture, such as disease, equipment failures, or unexpected competitions (BONDAD-REANTASO *et al.* 2008, McINTOSH 2008). Given a longer production cycle, as well as larger initial investments required in aquaculture as compared with other agricultural subsectors like annual crops and animals, aquaculture is often faced with more serious risks (ENGLE 2010), especially in the context of climate changes and their unpredicted hydrological cycles. HANDISYDE *et al.* (2006) and DEL SILVA & SOTO (2009) (cited in BARANGE & PERRY 2009) noted that climate changes bring various direct and indirect impacts on aquaculture, which certainly cause more stress and vulnerabilities to this sector, and thus imply a higher possibility of loss. Moreover, the extensive global economic crisis has exposed farmers to severe conditions in dealing with a variability in in- and output prices (MIRANDA & VEDENOV 2001).

2.4. RISK IMPACTS AND VULNERABILITY

Recently, a significant aspect studied by risk scientists has been associated with issues of social protection against poverty, particularly in developing countries (DERCON 2005). In this context, the term “vulnerability” is used to mention the level of risk consequences that could do potential harm to farmers (ADGER 2006, MCCARTHY *et al.* 2001, SAREWITZ *et al.* 2003). SAREWITZ *et al.* (2003) even asserted that vulnerability reduction is a human right-related issue while risk reduction is not. Accordingly, measuring and decreasing the impact of risks is more important than trying to eliminate them. Risk impact is generally a negative outcome of an event (hazard) occurring on several aspects of farmers’ farming practices and their life, including economic (weather extremes in food-producing regions could reduce crop yields up to 25 % and certainly lead to food price increases; PORTER *et al.* 2014), social (a substantial proportion of world population are falling into deeper poverty as they are struck by negative shocks; World Bank 2014), and environmental aspects (caused by human-made catastrophes such as the Fukushima power plant disaster or the Gulf of Mexico oil spill; KREFT *et al.* 2014), etc. Such consequences, which must be identified by the degree, the geographical extent, and duration of the effects, may be expressed qualitatively (with level of impact from low to high) or quantitatively (in terms of monetary value of loss of number/proportion of affected people) (ARTHUR *et al.* 2009).

3. Methodology

3.1. STUDY SITE

Thai Binh is located in the “rice bowl” of the Red River Delta of Vietnam and has remained an agriculture-based province. Sixty-six percent of the provincial workforce is devoted to the agricultural sector. Even though much change in the provincial GRDP (Gross Regional Domestic Product) structure happened toward more industrial and service sector contributions over the last thirty years under the market-based economic policy of Vietnam, agriculture, forestry and aquaculture have still contributed 25 %-35 % of the total provincial value of production in recent years. Most farmers have been traditionally living on food crop production and animal raising. About 26 % of farmers living along coastal areas seek their livelihood from coastal aquacultural activities, mostly in combination with other traditional livelihood activities. In 2015, the total value of Thai Binh GRDP was estimated at \$1.956 trillion and GRDP per capita was about \$1,377, in which total aquaculture production generated a value of \$174 million (NGUYEN 2015).

Among coastal provinces in the north of Vietnam, Thai Binh has the largest clam farming areas (3,430 ha), followed by Nam Dinh (1,710 ha), Thanh Hoa (1,200 ha), and Quang Ninh (1,000 ha) (MARD 2014). According to the Thai Binh Agriculture and Fishery Extension Center, salinity in intertidal areas is around 1.5 ‰-2.5 ‰, favouring aquaculture development. The total area that has potential for aquaculture is around 17,000 ha (MARD 2014), of which 15,119 ha (or roughly 89 % of the total potential area) have been brought into aquaculture production with many types of species, such as shrimp, fish and clam. In 2014, the total clam production generated a value of VND 445 billion (about US\$20 million) for the province (figs.1 & 2).

There are twelve communes of the province involved in clam farming. These are located along 50 km of the coastline in the province. For the study, three communes were selected. These have the largest clam farming area as well as the longest history of clam production in the province. These characteristics allow researchers to capture the risks and farmer's resilience/capacity in clam farming over a relatively long period, *i.e.*, from 2006 to 2014. There were 1,310 households doing clam farming in the three communes at the time of the study (Geographical Database 2016, Nationsonline 2016) (fig. 3).

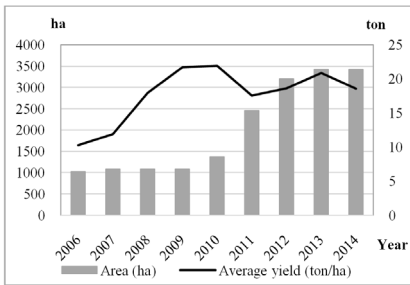


Fig. 1. — Clam farming area and average yield (2006-2014).

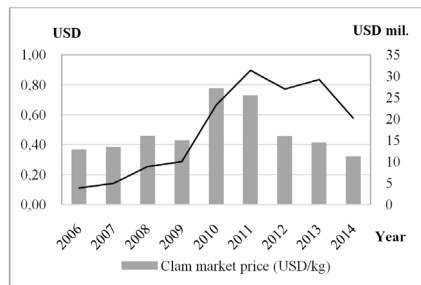


Fig. 2. — Clam market price and total gross output (2006-2014).

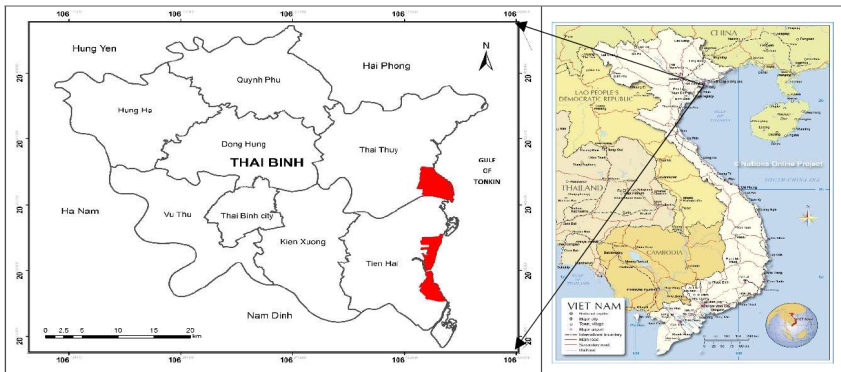


Fig. 3. — Map of the research sites.

3.2. DATA COLLECTION

Fieldwork was carried out in the study site from August, 2014 to April, 2015. Secondary data regarding policies on intertidal land planning, and allocation, financial and technical support for clam production were gathered from different local government offices and published papers/reports. Primary data were collected by using different research tools. Data on clam farming and marketing practices and risks, and farmers' capacity and strategies to recover from the different risks that occurred between 2006 and 2014, were collected. The data were then combined to identify impacts of policies on clam farming practices, consequent risks and farmers' coping strategies. The three research tools used for field research were:

- Key informants' interviews (KIs): eleven key persons from local governments at three administrative levels (province, district and commune) and clam traders were interviewed in order to obtain data on government policies and enforcement related to intertidal land planning and allocation; government (technical and financial) support for clam farming; clam traders' performance in relation to local clam farming practices and their views on the factors that govern local clam farming and marketing practices. (KIs include one person in the Thai Binh provincial aquaculture department, two people in aquaculture subdepartments in two districts, heads and aquacultural extensions of the three communes, and five clam traders.)
- Focus group discussions (FGDs): three FGDs were conducted in the selected commune (one FGD/commune) with participation of 8-10 farmers who have good experience in clam farming and marketing practices. FGDs aimed to explore historical events of local clam farming and market, relevant government policies and impacts on clam farmers, as well as farmers' coping strategies to risks and policy constraints.
- Household surveys, whose aim was to capture in-depth information on farmers' clam farming and marketing practices, such as farming costs and profit, the risks they faced, their coping strategies, and the consequences of risks on their farming practices, as well as their lives. Sample size of households for survey was calculated by the following equation:

$$n = \frac{N \times t^2 \times S^2}{N \times \Delta_x^2 + t^2 \times S^2}$$

where n = sample size; N = total households having clam farming in the three communes (1,310); and t = confidence interval (2.17, with 97 % confidence level). Based on the first thirty-one households surveyed in the three communes for their clam farming loss, sample variance (S^2) of 194.88 and sample errors (Δ_x^2) of 2.52 were estimated. For these parameters, $n = 157$ was generated.

3.3. DATA ANALYSIS

In this study, a chronological analysis was applied to identify the impacts of government intertidal land-use policies on clam farming practices at the farmer's level, the trend of clam farming and marketing practices, emergent risks, and farmers' coping strategies and consequences. In addition, a Mann-Whiney U-test was applied to test the impacts of different clam-raising plot sizes: those set by the Thai Binh government and those created by farmers in clam farming.

3.3.1. Mix Method Research

A mixed method was applied for this study (fig. 4) because of the following advantages. Aquaculture risks are very diverse because they could impact many external factors such as species, environment, market and practices. Therefore, the range of hazards and the perceived risk are very complex (BONDAD-REANTASO *et al.* 2008). The application of only one method (quantitative or qualitative) could lead to the bias result. Furthermore, to measure two basic characteristics of the aquaculture risk including its likelihood and consequences, we need to collect quantitative and qualitative data for the overall assessment (CRESWELL 2014). Accordingly, the following methods were applied in this study:

- Qualitative methods: (1) ethnomethodology was used to define the shocks happened in clam farming in the period 2006-2014 as well as to evaluate farmers about risks; (2) a risk assessment matrix was applied to rank the risks based on the consequences and likelihood of risk.
- Quantitative methods: (1) Mutual Information Index (MII) sensitivity analysis (with Monte Carlo simulation) was used to determine the sensitivity of "Profit per ha" to the changes of factors; (2) correlation & mean comparison (such as Spearman's rho test, Kruskal-Wallis test) was applied to assess the impact of each factor.

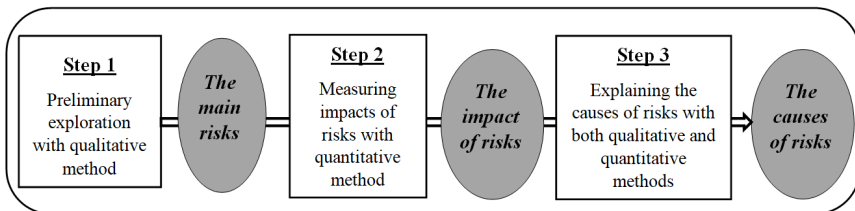


Fig. 4. — Sequential design for the research (source: adapted from CRESWELL 2014).

4. Results and Discussion

4.1. CLAM PRODUCTION IN THAI BINH

4.1.1. *Abnormal Development Trend*

The clam production has started in Thai Binh since the 1990s with a small area (150 ha), after a long-time sticking with capturing natural clam. However, this aquaculture sector has been only developed in commercial orientation since 2001 and gradually expanded in the following years and reached approximately 1,000 ha in 2006. Unpredictably, the statistics revealed an abnormal trend in the clam production of this area in the period 2006-2014. While the total production area had been continuously increasing in this period, it reached the highest value in 2011 and then slowed down until 2014. This expansion was a response of farmers when they realized clam production of “super profit”. Forty percent of the current clam farms with a total area of 2,100 ha started their clam production in the period from 2009 to mid-2012, as in that time clam was named “golden animal”. However, clam average yield and gross output were not at the same trend. Despite a sharp increase in the total area of production during 2009-2011 (nearly triple), the total gross output in 2012 suddenly reduced of almost US\$4.5 million and the average yield of this period was 18.6 tons/ha (three tons lower than this figure in 2010). Two years later, a decrease in the total value of output happened again and was only equal to year 2010 while the total area of year 2014 was 2,000 ha more than that of year 2010 (see fig. 1). This abnormal trend shows that clam production suffered from different kinds of risk, from starting to harvesting stage, which then lastly caused an extraordinary variability both in its productivity and production value.

4.1.2. *Profitable but Risky Production*

The clam production has been considered as the most profitable subsector in the coastal farming system in Thai Binh province. Accounting for 59 % of the total provincial aquaculture output in the period 2009-2014 (MAI LIEN 2014), this subsector generates a high income source for farmers, improving the socioeconomic development of many local communities. Particularly, in some cycles during the period 2009-2011, harvest earnings were the triple of investment cost, *i.e.* some clam farmers had received US\$22,000-27,000 per ha as a net profit (TTXVN 2014). The result from the Monte Carlo simulation has shown that mean profit per ha in one year for clam production is US\$6,700 USD, but varying between juvenile and adult clam farming (US\$18,000 vs US\$3,300, respectively). The most special characteristic of clam raising is that there is no cost for feeding practices. The major cost goes for juvenile and labour, accounting for

70 % and 20 % of the total production cost, respectively (NGUYEN & NGUYEN 2013), in which labour is provided by farmers and other hired ones.

Farmers said that clam farming is somehow like “gambling”. Given a long raising cycle, largely dependent on external factors, clam farmers have to cope with more risks. The forecast report resulting from the Monte Carlo simulation has shown that the rate of investment loss is 52 % (fig. 5), and specifically that those figures for adult and juvenile clam raising are 55 and 43 %, respectively. When farmers were asked why they invested in clam farming despite the risks, 75 % of them reported that the investment was attractive as a form of gambling, meaning that the more they lost, the more they wanted to invest, based on the expectation they would win in subsequent clam raising cycles. Box 1 below gives an opinion of one farmer who has ten-year experience in clam production and still keeps his clam farming despite a loss of about US\$22,000 in 2012.

Box 1: Farmer’s opinion about investment in clam production:

No risk – No gain

“Only clam can save clam farmer. Nothing is more profitable than investment in this sector. With one raising cycle like in the period 2009-2011, we may cover loss of 3 raising cycles like in 2012. I would like to take money back from the place I dropped my money” (interview with a farmer in Thai Do Commune, Thai Thuy District on July 20, 2015).

The case of clam production is an excellent example of key insights on the process of risk management from the World Development Report in 2014: “Taking on risks is necessary to pursue opportunities for development. The risk of inaction may well be the worst option of all” (World Bank 2014). Therefore, risk management can be a powerful instrument for sustainable development. The next part will deal with impacts and causes of risks in clam production, which would then be a good ground for assessing and giving recommendation to improve risk management strategies in the agricultural sector in the future.

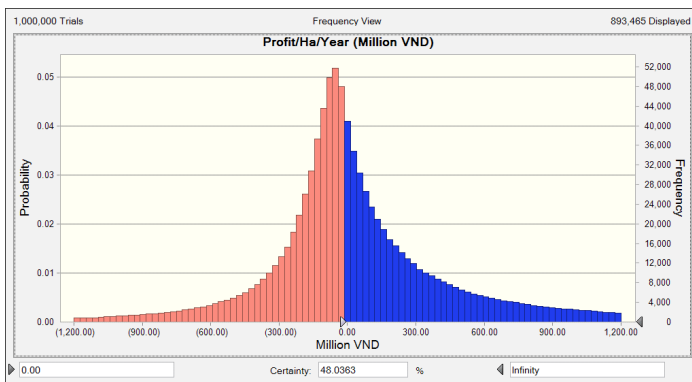


Fig. 5. — Clam profit probability distribution.

4.2. IMPACTS OF CLAM FARMING RISKS

4.2.1. Direct Economic Impacts

Data on clam farming loss in one hundred and fifty-seven households interviewed for the period 2006-2014 reflect a serious impact of loss in clam farming. In 2012, with 67 % of clam area loss [2] (amounting to 147.05 ha and owned by forty-two households), farmers suffered from a total loss of more than US\$2.2 million. Some years later, the percentage of clam raising areas under loss kept slightly increasing while the total loss decreased steadily. Because of these shocks occurred in the period 2006-2014, 42 % of interviewed clam farmers had minus average profit per year (tab. 1), with a loss of minus US\$79,000/per year as the most serious case reported.

Table 1
Profit per year of clam households (HHs) (period 2006-2014)

Group base on loss frequency	% of HHs	Profit per year (million VND)		
		Mean	Max.	Min.
Gained in all cycles	14 %	323.17	1099.10	3.40
Had more gain cycles than loss cycles	44 %	210.55	1405.87	-575.74
Had more loss cycles than gain cycles	24 %	-123.15	103.74	-861.22
Lost in all cycles	18 %	-177.33	-8.60	-1745.25

A sensitivity analysis resulting from the Monte Carlo simulation has shown that the clam mortality rate was the main factor causing variation of farming profit with a negative impact (the higher clam mortality rate, the less profit received by farmers). The price ratio (calculated by the prices of clam at two points: starting and harvesting cycle) was the second major external factor which contributed to the 23.3 % of the profit variation (fig. 6). However, the impact of these two factors on clam farming practices differs between juvenile and adult clam farming due to differences between the two types of farming. With a shorter cycle length (two-five months) and greater investment in technical equipment, profits from clam hatchery farms oscillate more according to mortality rates; specifically, mortality rates caused profit variations of minus 52 % whereas price changes caused profit variations of 9 %. In contrast, these two figures in adult clam farming are minus 34 and 24 %, respectively (with a raising cycle duration

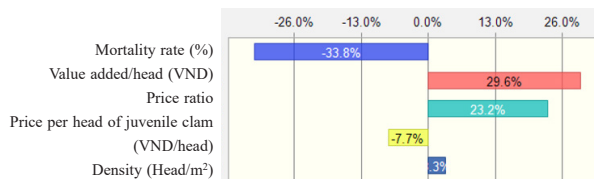


Fig. 6. — Contribution of factors to the profit variation.

of eighteen months in normal conditions). Overall, in all farming systems, more than 50 % of the profits from clam raising depend on external factors.

4.2.2. Other Socio-economic and Environmental Impacts

The fluctuation in the clam farming productivity and prices causes a serious financial impact on farmers. Hundreds of billion VND investment were lost each year in the period 2012-2014. Thousands of farmers faced bankruptcy. About US\$20.8 million borrowed from banks could not be paid back yet (LONG 2013). Out of one hundred and fifty-seven households interviewed, 16 % exited clam farming due to bankruptcy and 38 % had to sell their fixed assets (*e.g.* houses, cars, motorbikes or even clam fields) to repay debts. Moreover, attracted by the “profit-promising gamble” of clam raising, 45 % of farmers opted to borrow more money to reinvest in clam farming, with the belief that “only clam can save clam”. Unfortunately, not all of these farmers were successful. Some of them had to leave their village as they could not afford their debts (there were at least three such cases in Dongminh commune, five cases in Namthinh commune and two cases in Thaido commune).

At the same time, other socioeconomic and environmental problems — such as reduced clam-based employment opportunities for local farmers and water (and even air) pollution caused by clam deaths — were occurring (MAI 2013). Human loss can also happen when farmers (especially women) work on the sea. In December 2014, in Tienhai, six clam farmer deaths occurred during clam harvesting by boat, five of them were women. Some months later, in February 2015, two women farmers in Thaituy went missing when their boat capsized.

Clearly, the livelihood of clam farmers is highly sensitive to clam farming risks, in terms of both economic and human welfare. Therefore, for clam farmers to reach sustainable livelihood, identifying the root causes of these risks is necessary to enable both farmers and government to adjust their actions accordingly and implement more effective risk management strategies.

4.3. CAUSES OF THE RISKS

The results from farmers’ group discussion and key informant interviews have revealed that there are three main types of risk affecting clam production, namely: production risks (causing clam mortality); market risks (causing difficulties in market access and declined clam market price); and financial risks (causing households’ debts and bankruptcy). Detailed information on each type of risks is discussed in the following sections.

4.3.1. Production Risks

Production risks cause clam mortality, slow clam growth and even deformation. These risks induce to reduction of clam yield. According to Thai Binh's statistics, clam yield varied much from eleven to seventy tons/ha during the period 2006-2014. However, local governments and farmers have conflicting opinions about root causes of risks. Although the two sides agree that "bad weather" is a source of risk, they disagree about all other causes of risk. For instance, a report by a local government claimed that high mortality rates were primarily due to farmers' own decisions (e.g., adopting high clam raising densities instead of technically recommended density). By contrast, farmers cite the discharge of polluted water from nearby factories and rice paddies as a major cause for clam mortality. In general, four factors are identified as major causes for clam mortality.

4.3.1.1. Weather Factor

A clam production cycle normally lasts from eighteen to twenty-four months (from a starting of about one thousand clam heads/kg to a harvesting at seventy clam heads/kg). Therefore, for such a long duration, many environmental factors could seriously cause clam death. According to technical guides for aquaculture production published by the Thai Binh Department of Agriculture, suitable temperature for clam varies from 18 to 30 °C (Thai binh DARD 2013). Whereas in the study site, climate temperature can be up to 38 °C and lasted for several days continuously. Moreover, this coastal area often suffers from at least two storms per year, some of them were disastrous like the Kammuri storm in 2008 or Son Tinh storm in 2012. In a preliminary study, TUNG (2012) concluded that among weather factors, water temperature has the biggest impact on clam mortality rate.

However, weather factors were not the only ones causing massive death of clam. In 2014, the highest temperature was 36.5 °C with only nine hot days whilst in 2010, there were twenty-two hot days at higher temperature of 38.3 °C but average clam death rate in 2010 was lower than in 2014 (tab. 2).

Table 2

Weather statistics in Thai Binh coastal area and average mortality rate of clam

Indicator	Unit	Year								
		06	07	08	09	10	11	12	13	14
(1) Number of storms	Storms	2	4	3	3	2	4	2	4	2
(2) Highest temperature	°C	36.7	37.9	35.7	37.5	38.3	37.3	37.6	38.2	36.5
(3) Number of hot days	Days	12	10	5	15	22	7	14	8	9
(4) Average mortality rate	%	30	30	42	51	39	39	58	48	54

Sources: (1), (2), (3): Thai Binh Statistical Department; (4): household survey.

4.3.1.2. Disease and Salinity Level

An experiment with two widespread kinds of bacteria, namely *Vibrio haveyi* and *V. alginolyticus* in two hundred and forty hours (ten days), shows that they do not have any direct effect on clam mortality and growth and therefore have no impact on the vitality of clam. Besides, salinity level does not cause clam death, but may affect clam adaptability when being moved to new raising environment, *i.e.*, from juvenile filed to clam commercial production fields (LE 2012).

4.3.1.3. Stocking Density

The impact of clam raising density on mortality rates is the subject of a heated debate. The report of the Ministry of Agriculture and Rural Development on causes of massive clam death identified high clam raising density as a major cause. Although the technical instructions issued by the Thai Binh Department of Aquaculture recommend a suitable clam raising density at 300-400 heads/m² (Thai binh DARD 2013), farmers have adopted raising densities as high as 700-800 heads/m². High stocking densities certainly cause reductions in clam feed and in other environmental factors that support clam growth (*e.g.*, light, oxygen) (PV 2014). However, farmers have raised two issues that challenge these conclusions: (1) if two fields have the same clam density rate but one is closer to inland waste water flows, the field closer to waste water flows has a higher mortality rate; (2) areas between fields (which are 1-2 m wide) are home to very few clams (low density) but suffer from the same death rates as clams inside the fields.

Several scientific studies indicated that clam raising density did not directly cause high clam death rate, though it might have indirect impacts. The rise of clam density from 200 to 493-600 heads/m² may initially increase farmers' income, but would lead to degradation of environmental factors that support clam growth (BIU & TRAN 2013). The research of LE (2012) carried out four experiments to determine the impact of raising density to clam growth. After two months, the weight of one hundred and fifty-eight heads of clam (randomly chosen) from each experiment with density of one hundred and fifty heads/m², three hundred heads/m², seven hundred heads/m² and one thousand two hundred heads/m² were 1,500 g, 1,420 g, 1,390 g and 1,240 g, respectively. The longer clam lives in the field, the greater the risk, which certainly increases the overall mortality rate.

4.3.1.4. Polluted Waste Water Flow

Similar to the issue of raising density, local governments and farmers have opposing opinions. Along the coastal line of Thai Binh, there are several drains for waste water flow discharged from inland factories and rice fields, which are accused by farmers to be the causes for clam massive death. Farmers observed that clam death rate always increased when waste water was discharged. How-

ever, no official document from the government has admitted this blame so far. Government officials argued that adjacent factories have operated since the 2000s but the phenomenon of massive clam death has just happened in recent years (from 2012 until present). Moreover, if massive clam death happened, it would damage water environment since farmers could not collect all dead clam, which then makes matters worse (PV 2014).

Meanwhile, results of TUNG's (2012) research showed that water environmental conditions in the Thai Binh coastal area had signs of contamination, affecting clam growth, although no records existed to prove possible correlation between contaminated water level and clam mortality rate. Many environmental elements were higher than the Vietnamese technical standards [3] applied for water quality of aquatic production such as total suspended solids, N-NO_2 ; N-NH_4^+ ; P-PO_4^{3-} ; TSS. Clams are also very sensitive to Niclosamide — a chemical used for controlling golden snails in paddy (LE 2012).

4.3.1.5. Low Quality Juvenile Clam

This is claimed as part of the reasons for slow clam growth (inducing to longer raising cycle) and deformation phenomenon of clam. According to farmers, compared with ten years ago, clam growth and resistance capacity, *i.e.*, towards extreme climate conditions, are reduced. As discussed above, environment and natural depression process could weaken juvenile quality. But this is not the only reason. To quickly expand clam production both in raising area and density, farmers have to access different sources of juvenile clams, *i.e.*, from neighbouring provinces such as Nam Dinh, Thanh Hoa, or even from China and Taiwan, etc. because juvenile clam produced in Thai Binh only met about 17 % of the total demand in the 2010s (Thai Binh DARD 2014). Farmers reported that juvenile clam purchased from other locations were more vulnerable to the new raising environment. Many clams have problems with deformation phenomena.

4.3.2. Market Risks

4.3.2.1. Oversupply and Unstable Market

The expansion of the clam raising area in the period 2006-2010 could be explained by clam “super profit” experienced by farmers in early times. However, after 2010, a continuous clam raising promoted by the Thai Binh provincial government to expand clam production with a target of one hundred thousand tons of harvest clam/year in 2015 and two hundred thousand tons/year in 2020 has really caused market shocks for clam farmers. Nearly, 1,000 ha of intertidal areas were newly brought into clam production between 2011 and 2014 in the province while clam demand market has suddenly decreased since 2012. An

official record of the Thai Binh Commercial Department revealed that before 2012, 50-60 % of the total provincial harvest clam was sold to China through unofficial export channels, 30 % to the EU market and only 10 % was sold in domestic market [4]. Nonetheless, in 2012, two growing food safety issues caused by illegal additives adopted by farmers and toxic industrial wastes (LAM *et al.* 2013), which pushed the Chinese government to reform laws, established monitoring systems and strengthened food safety regulations, especially for unofficial import channels. Accordingly, clam exports from Vietnam to China were restricted and even forbidden (PHU 2014). At the same time, further food safety requirements adopted by EU markets created additional barriers for Vietnamese aquaculture product exports, including clam.

4.3.2.2. Sudden Changes of Price and Latency of Response

Together with the decrease of total clam harvest caused by production risks, suddenly reduced market access and clam price (as a certain consequence of oversupply) led to a significant decline in the total value of clam production, despite the expansion of clam raising areas. The rapid clam price increase during the period 2006-2011 was immediately followed by a continuous decline in the period 2011-2014 (fig. 7). Accordingly, price of juvenile clam fluctuated in the same trend. However, the impact of juvenile clam price can only be realized at the end of clam raising cycles, *i.e.*, eighteen to twenty-four months after juvenile purchase. The dot line in figure 7 connects two points (start and ending points) for one clam raising cycle. Since the normal clam loss rate is 30 % [5], in optimistic cases, the gross profit rate was double in 2006-2007, nearly two and half times more in 2009-2011 but nothing in 2012-2014. In fact, this loss could be more serious as it has been impacted by many combined risks other than price factor.

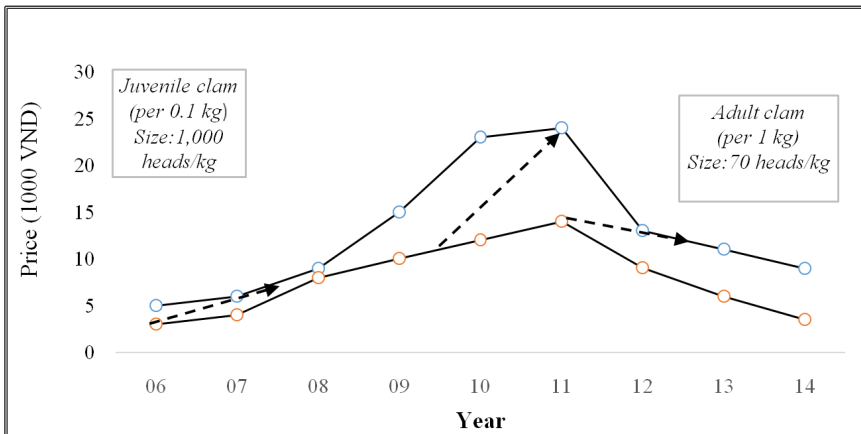


Fig. 7. — Price fluctuation of juvenile and adult clam in June 2014.

4.3.2.3. Limited Information for Farmers

Clam farmers do not have any official source of information about juvenile or commercial clam prices, good suppliers or demands of markets, making farmers disadvantaged in negotiations with suppliers and collectors. Ninety-five percent of the interviewees said that they did not know exactly where the buyers came from; 100 % of them did not realize the importance of making legal contracts with traders. There is no intervention/support from local governments for farmers in finding clam in- and output markets, no warnings about clam production and market risks, no protection when clam farmers were cheated by traders. The absence of governments' support contributed to farmers' weakness (MARKELOVA *et al.* 2009), meaning that they were really “passive in the game”: the price of juvenile and meat clam is always imposed by suppliers and collectors/traders.

The problem was far more serious when farmers found no market to sell clams even at a low price. As in a passive position, when connected buyers leave the market, farmers can only keep clams in their fields and be “waiting for other buyers”. As a result, the clam raising cycle increased (tab. 3). The results from discussion of the focus group of experienced clam farmers stated that six-seven years ago, they needed only twelve-eighteen months to finish a raising clam cycle, while it is now up to eighteen – thirty-six months. Although the length of clam raising cycles does not have a strong correlation with the clam mortality rate, the correlation coefficient is 0.124 with the significant level of 0.01 (tab. 4) showing the fact that the longer clam raises in the field, the greater the risk.

Table 3
Length of clam cycle in period
2006-2014 (unit: months)

Year	Mean	Min.	Max.
2006-2011	18.87	15.23	26.40
2012	21.75	17.23	36.53
2013	20.59	15.23	39.60
2014	25.55	17.20	42.60

Table 4
Spearman's rho Test about the correlations between
cycle length and mortality rate

		Cycle length (months)	Mortality rate (%)
<i>Cycle length (months)</i>	Correlation coefficient	1.000	.124*
	Sig. (2-tailed)	.	.006
	N	481	481
<i>Mortality rate (%)</i>	Correlation coefficient	.124*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.006	.
	N	481	481

* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

4.3.3. Financial Risks

4.3.3.1. High Barriers to Access Formal Credit Market

High investment requirement is one of the important characteristics of clam farming. Average investment cost for clam farming is of \$20,000-\$22,000/ha (NGUYEN & NGUYEN 2013). Results of the household survey showed that 70 % of the investment as well as financial resources to recover after risk had come from credit system. However, risky characteristics embedded in clam production make it difficult for clam farmers to access formal credit system. The statistics from the State Bank-Thai Binh branch showed that until September 2013, there were one thousand seven hundred and fifty-two farmers and small enterprises that borrowed money to invest in clam production, with a total loan amount of 457.6 billion VND (about US\$ 21 million) (LONG 2013). This amount was just equal to one third of the total of capital investment in the sector by farmers. In credit policy, banks can refuse to lend more money if farmers have not yet returned borrowed loans or if they have not submitted sufficient documents for extending loan period as required by the banks. Given the increased risks in clam production in recent years, banks have set up stricter barriers for credit risk management policy (such as higher mortgage required). This has pushed and directed farmers to informal credit market as it always requires less administration procedures and no credit limit; but with higher interest rates applied.

4.3.3.2. Informal Credit Market

With data of all the cases financed by credit from informal market, the Monte Carlo simulation has shown that the probability of loss with those cases is 57 %, which is 5 % higher than the common average. The high interest rate (5-10 % higher than formal market) is one of the most important reasons why the mean of clam profit per ha (which was financed by informal credits) is much lower than the mean of groups financed by formal credit (tab. 5). High interest rates of informal loans coupled with other production and market risks have brought farmers into more financial troubles. There have been lessons learnt that once poor farmers rely on informal loans with easy access, it will be difficult for them to escape from financial debt traps.

Table 5
Result of Mann-Whitney Test for the hypothesis
about “the borrowing sources and Profit per Ha”

					Mann-Whitney Test Statistics	
Borrowing source	N	Mean	Std. deviation	Std. error mean	• Mann-Whitney U	11195.00
Formal credit	255	143.17	577.35	36.16	• Wilcoxon W	17865.00
Informal credit	115	-39.56	518.17	48.32	• Z	-3.642
					• Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

4.4. RISK CLASSIFICATION

4.4.1. Segmenting Risks into Layers

A focus group discussion was carried out in March 2015 to rank the different types of risk based on frequency of occurrence (likelihood) and magnitude of loss (consequences). Discussion results have shown that risks which make clam farmers most worried include high clam mortality rate and sudden changes of market price. In recent years, those risks happened quite frequently and have caused serious losses (fig. 8). Farmers have revealed that a clam mortality rate of 30 % is common and accepted. However, since 2009, clam mortality rate has been around 55 % on average due to polluted water flows and around 40 % because of extreme weather events (storms or hot weather). Parallel with these risks, sudden change of market prices, which has happened frequently since 2012, has led to extreme chaos in clam production in the province.

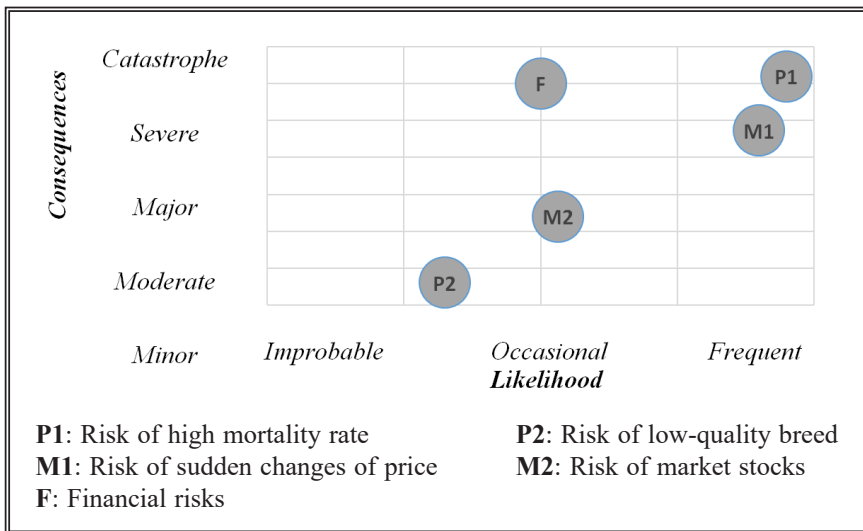


Fig. 8. — Risk assessment.

The borderline between the different types of risk is blurred because they are correlated with each other (OECD 2009). For example, it is also factual in clam production for the reason that when clam market price goes down, farmers may have a response to risk by keeping clams in their fields, unlimitedly. Unlike other types of agricultural productions that have a definite time to harvest, clam farmers can extend the harvesting point as long as they want. However, the longer clams stay in the fields, the greater the risk from bad weather events and/or polluted waste waters. Therefore, although those risks are segmented in different layers, they must not be treated separately.

4.4.2. Nature of Causes

There are several causes of aquaculture risks, but the majority of them are human-caused rather than nature-made (tab. 6). From farmers' views, human-caused events (such as risks caused by polluted water) are more systemic than naturally originated. Farmers have revealed that they can forecast weather by relying on their experience or national forecast weather programmes and then take some actions such as investment on netting system, harvesting time, or even decision on the size of juvenile clams for new raising cycles. But human-caused events could happen at any time of the year without prior notice to farmers, especially when polluted water is discharged silently [6]. Similarly, PIDGEON & O'LEARY (2000) concluded in their study that human-caused risk is normally more difficult to manage, because of two common barriers: (1) asymmetric information; (2) blamed and organizational politics.

Table 6
Causes of the risks: human-caused more than natural-made

Type of risk	Causes	Natural-made	Human-caused
Production risk	• Bad weather (extreme weather events)	x	
	• Polluted waste water		x
	• High density		x
Market risk	• Overexpansion and unstable market		x
	• Sudden changes of price and latency of response		x
Financial risk	• High barriers to access formal credit market		x
	• High interest rate in informal market		x

5. Conclusions and Implications

Clam production plays an important role in the livelihood of most farmers living along coastal areas and in the total aquaculture production value as well as in the provincial annual income of the Thai Binh province, in general. After enjoying a lucrative economic return in the early 2000s, clam farming has been facing increasing risks, including production risks (*i.e.*, high mortality rate, slow growing capacity and deformation phenomenon of clams), market risks (*i.e.*, unpredictable changes in market prices with suddenly reduced tendency in recent years), and financial risks (*i.e.*, caused by high investment demands of the sector as well as high interest rate applied by private credit system). These risks, in some intertwined way, have exacerbated vulnerability of the clam farming practices and the farmers involved.

Even though the impacts of these risks on clam production have been felt and quantified by farmers, their causes have not yet been well analysed, or to some extent, purposely ignored by local governments. As a result, governments and farmers keep blaming on each other for causes of risks that occurred, and finally farmers are the ones who have to pay the highest price and are even trapped into financial troubles. Many farmers have been badly hit by clam farming risks, forcing them to give up whilst others are struggling to save their farms with different strategies, notably by reducing clam farming scale, a more careful selection of clam juvenile size, harvesting time, or netting system, etc.

Zoning and promoting clam production by the government in the early 2010s has boosted clam expansion and intensification in the absence of careful assessment of market demands and schemes to promote clam market. This, coupled with poor coordination for wastewater discharges from inland industrial and agricultural activities, has increased the risks for clam farming practices. Stricter food safety policies adopted by clam-importing countries like China and EU have further reduced market opportunities for clam farmers. All this explains the plagues faced by clam farmers in recent years.

There are always winners and losers in all types of daily business. Clam farming is no exception. However, since clam farming has been observed with more losers than winners in recent years, and many losers have been faced with lethal bankruptcy from their clam investment, alternative clam development strategies are badly needed.

Exposed to different types of risk, both natural and human-caused, it has been clearly observed that farmers alone cannot effectively cope with these risks. As described earlier, clam farming risks are much more human-caused than naturally originated. Therefore, governments should play better roles in coordinating and managing different activities of relevant stakeholders (such as inland farming and industrial producers, better inland wastewater discharge schemes, more flexible credit system functions) so that human-caused risks for clam farming could be minimized. In addition, governments could also help improve local people capacity to cope with other risks through the improvement of information communication and financial mechanisms, towards building up a more effective and sustainable aquaculture risk forecast and management system.

NOTES

- [1] Latin name: *Meretrix Lyrata*.
- [2] The concept “Loss” refers to the situation when the profit of clam farming is minus.
- [3] QCVN 10: 2008/BTNMT.
- [4] Information from Key Informant Interview in April 2015.
- [5] Result from Focus Group Discussion in March 2015.
- [6] Source: Focus Group Discussion in Dong Minh (March 2015).

REFERENCES

- ADGER, W. N. 2006. Vulnerability. — *Global Environmental Change*, **16** (3): 268-281.
- AIMIN, H. 2010. Uncertainty, risk aversion and risk management in agriculture. — *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, **1**: 152-156.
- ARTHUR, J. R., BONDAD-REANTASO, M. G., CAMPBELL, M. L., HEWITT, C. L., PHILLIPS, M. J. & SUBASINGHE, R. P. 2009. Understanding and applying risk analysis in aquaculture: A manual for decision-makers. — *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, **519** (1), 113 pp.
- BARANGE, M. & PERRY, R. I. 2009. Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture. — *In*: COCHRANE, K., DE YOUNG, C., SOTO, D. & BAHRI, T. (Eds.), *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge*. Rome, FAO, *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, **530**: 7-106.
- BUI, D. T. & TRAN, V. D. 2013. Status of hard clam farming in some coastal provinces of North and Northern Central Vietnam. — *Journal of Science and Development*, **11**.
- BONDAD-REANTASO, M. G., ARTHUR, J. R. & SUBASINGHE, R. P. 2008. Understanding and Applying Risk Analysis in Aquaculture. — Rome, FAO.
- BUSH, S. R., VAN ZWIETEN, P. A., VISSER, L., VAN DIJK, H., BOSMA, R., DE BOER, W. F. & VERDEGEM, M. 2010. Scenarios for resilient shrimp aquaculture in tropical coastal areas. — *Ecology and Society*, **15** (2): 15.
- CAO, L. Q. 2012. Sustainable aquaculture development in Vietnam: Experience and lessons learnt. — *In*: International Conference on Sustainable Coastal and Ocean Development of the East Asian Seas (EAS) (Changwon, Korea).
- CRESWELL, J. W. 2014. A Concise Introduction to Mixed Methods Research. — SAGE Publications.
- DERCON, S. 2005. Insurance against Poverty. — Oxford, Oxford University Press.
- DOUKAKIS, E. 2005. Coastal vulnerability and risk parameters. — *European Water*, **11** (12): 3-7.
- ENGLE, C. R. 2010. Managing risk in aquaculture businesses. — *In*: *Aquaculture Economics and Financing: Management and Analysis*. Oxford, Wiley-Blackwell, pp. 93-103.
- GARSCHAGEN, M., HAGENLOCHER, M., KLOOS, J., PARDOE, J., LANZENDÖRFER, M., MUCKE, P. & BIRKMANN, J. 2016. World Risk Report 2015. — *In*: Bündnis Entwicklung Hilft (Alliance Development Works) and United Nations University – Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS) [http://collections.unu.edu/eserv/UNU:3303/WRR_2015_engl_online.pdf].
- Geographical Database 2016. From Center of Survey and Mapping Vietnam. — <http://bandovn.vn/vi/co-so-du-lieu-nen-dia-ly/tinh-thai-binh-81267>
- HANDISYDE, N. T., ROSS, L. G., BADJECK, M.-C. & ALLISON, E. H. 2006. The Effects of Climate Change on World Aquaculture: A Global Perspective. — Department for International Development (DfID) [http://www.ecasa.org.uk/Documents/Handisydeetal_000.pdf].
- HARDAKER, J. B., HUIRNE, R. B., ANDERSON, J. R. & LIEN, G. 2004. Coping with Risk in Agriculture. — CABI Publishing.
- HARWOOD, J. L., HEIFNER, R., COBLE, K., PERRY, J. & SOMWARU, A. 1999. Managing Risk in Farming: Concepts, Research, and Analysis. — US Department of Agriculture, Economic Research Service.

- HOANG, L. 2013. No way for selling ThaiBinh clam (*Be tac loi ra cho ngao e ThaiBinh*) [Press release]. — <http://www.thanhnien.com.vn/doi-song/nhip-song-dia-phuong/be-tac-loi-ra-cho-ngao-e-thai-binh-8841.html>
- HUIRNE, R. B., MEUWISSEN, M. P., HARDAKER, J. B. & ANDERSON, J. R. 2000. Risk and risk management in agriculture: An overview and empirical results. — *International Journal of Risk Assessment and Management*, **1** (1-2): 125-136.
- KREFT, S., ECKSTEIN, D., JUNGHANS, L., KERESTAN, C. & HAGEN, U. 2014. Global Climate Risk Index 2015. Who Suffers Most Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2013 and 1994 to 2013. — Germanwatch, Think Tank & Research.
- LAM, H.-M., REMAIS, J., FUNG, M.-C., XU, L. & SUN, S. S.-M. 2013. Food supply and food safety issues in China. — *The Lancet*, **381** (9882): 2044-2053.
- LE, C. T. 2011. A Risk Management Framework for Aquaculture: The case of Vietnamese Catfish Farming. Thesis RMIT University.
- LE, C. T. 2012. Evaluate the threats and find the causes of clam death phenomenon (*Mere-trix lyrata* và *M. meratrix*) in ThaiBinh coastal area. — http://www.rimf.org.vn/bantin/news.asp?cat_id=12&news_id=3094
- LONG, H. 2013. No way for selling ThaiBinh clam (*Be tac loi ra cho ngao e ThaiBinh*) [Press release]. — <http://www.thanhnien.com.vn/doi-song/nhip-song-dia-phuong/be-tac-loi-ra-cho-ngao-e-thai-binh-8841.html>
- MAI, T. (Producer) 2013. *Ngao ứ đọng hàng nghìn chục tấn: liệu cung đã vượt cầu?* (Thousands tons of stagnant scallop: Is that supply over demand?). — http://www.nhandan.com.vn/mobile/_mobile_kinhte/_mobile_chuyenlaman/item/21771002.html
- MAI LIEN (Producer) 2014-2015. Clam production accounted for 59 % of total aquaculture output of ThaiBinh Province [News Program]. — <http://www.thaibinhvtv.vn/tintuc/ngao-chiem-ty-trong-tren-59-tong-san-luong-thuy-san-cua-thai-binh/vi-VN-21220-21.aspx>
- MARD 2014. Report about clam production in provinces of North coastal Vietnam. — Hanoi (Vietnam), Department of Processing and Trading Agricultural Forestry Aquatic Products and Salt.
- MARKELOVA, H., MEINZEN-DICK, R., HELLIN, J. & DOHRN, S. 2009. Collective action for smallholder market access. — *Food Policy*, **34** (1): 1-7.
- MCCARTHY, J. J., CANZIANI, O. F., LEARY, N. A., DOKKEN, D. J. & WHITE, K. S. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge, Cambridge University Press.
- MCINTOSH, D. 2008. Aquaculture Risk Management. — *NRAC Publication*, **107**.
- MIRANDA, M. & VEDENOV, D. V. 2001. Innovations in agricultural and natural disaster insurance. — *American Journal of Agricultural Economics*, **83** (3): 650-655.
- MUSSER, W. N. & PATRICK, G. F. 2002. How much does risk really matter to farmers? — In: JUST, R. E. & POPE, R. D. (Eds.), *A Comprehensive Assessment of the Role of Risk in US Agriculture*. Springer, pp. 537-556.
- Nationsonline 2016. Political Map of Vietnam. — <http://www.nationsonline.org/oneworld/map/vietnam-political-map.htm>
- NGUYEN, H. D. 2015. *Bao cao tinh hình kinh tế xã hội tỉnh Thái Bình 2015* (The report about social-economical situation of Thai Binh Province in 2015). — Thai Binh People's Committee, Thai Binh province, Vietnam.

- NGUYEN, T. H. & NGUYEN, T. D. N. 2013. Economic performance of clam aquaculture in NamThinh Commune, TienHai District, ThaiBinh Province. — *Journal of Science and Development*, **11** (1): 97-106.
- OECD 2009. Managing risk in agriculture: A holistic approach. — OECD Publishing.
- PHU, T. 2014. Find the output market for clam (*Tim thi truong tieu thu ngao thuong pham*). — <http://baotintuc.vn/kinh-te/tim-thi-truong-tieu-thu-ngao-thuong-pham-20130803093802220.htm>
- PIDGEON, N. & O'LEARY, M. 2000. Man-made disasters: Why technology and organizations (sometimes) fail. — *Safety Science*, **34** (1): 15-30.
- PORTER, J. R., XIE, L., CHALLINOR, A. J., COCHRANE, K., HOWDEN, S. M., IQBAL, M. M., LOBELL, D. B. & TRAVASSO, M. I. 2014. Food security and food production systems. — *In*: FIELD, C. B., BARROS, V. R., DOKKEN, D. J., MACH, K. J., MASTRANDREA, M. D., BILIR, T. E., CHATTERJEE, M., EBI, K. L., ESTRADA, Y. O., GENOVA, R. C., GIRMA, B., KISSEL, E. S., LEVY, A. N., MACCRACKEN, S., MASTRANDREA, P. R. & WHITE, L. L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 485-533.
- PV 2014. Pollution did not cause the massive clam death. — <http://nongnghiep.vn/ngao-chet-tai-thai-binh-khong-phai-do-o-nhiem-hoa-chat-post134994.html>
- SAREWITZ, D., PIELKE, R. & KEYKHAH, M. 2003. Vulnerability and risk: Some thoughts from a political and policy perspective. — *Risk Analysis*, **23** (4): 805-810.
- Thai Binh DARD 2013. Technical guide for aquaculture production. — Thai Binh Department for Agricultural and Rural Development.
- Thai Binh DARD 2014. Preliminary summary report after two years carrying out “2011-2015 planning proposal” (*Bao cao so ket 2 nam thuc hien de an nuoi ngao*). — Thai Binh Department of Agriculture and Rural Development, Thai Binh province, Vietnam.
- TRAN, Q. K. 2017. Report of Vietnam imports and exports 2016. — Hanoi.
- TTXVN 2014. Clam production In Thai Binh. — <http://www.ngaothaibinh.com.vn/2014/10/thai-binh-phat-trien-nuoi-ngao-vung-bai.html>
- World Bank 2014. Risk and opportunity: Managing risk for development. — *In*: Publishing and Knowledge Division, The World Bank [http://siteresources.worldbank.org/EXTNWDR2013/Resources/8258024-1352909193861/8936935-1356011448215/8986901-1380046989056/WDR-2014_Complete_Report.pdf].

Klasse voor Technische Wetenschappen

Classe des Sciences techniques

Behaviour and Geotechnical Risks of some Problematic Soils in Semi-arid Areas*

by

Christophe BAUDUIN**

KEYWORDS. — Semi-arid Regions; Swelling Clay; Carbonated Soil; Evaporites.

SUMMARY. — Soils in semi-arid regions may behave in significantly different ways than apparently similar soils in temperate climates. High risks may occur when extrapolating the behaviour of well-known soils in temperate climates towards apparently similar soils in semi-arid conditions. Such so-called “problematic soils” need to be properly identified and their specific behaviour acknowledged in design and construction methods to avoid geotechnical failures and large-scale losses. The present paper describes the basic properties, identification methods, engineering behaviour and risk mitigation for three typical problematic soils: expansive clays (as an example of soils that exhibit volume change when wetted or dried), carbonate soils (as a typical example of soils in which the particles are crushable) and evaporites (as an example of soils that dissolve).

TREFWOORDEN. — Semi-aride gebieden; Zwellende klei; Gecarbonateerde gronden; Evaporieten.

SAMENVATTING. — *Gedrag en de geotechnische risico's van enkele niet-gebruikelijke gronden in semi-aride gebieden.* — Gronden in semi-aride gebieden kunnen een gedrag vertonen dat aanzienlijk afwijkt van dat van gelijkaardige gronden in getemperde klimaatstreken. Grote risico's ontstaan wanneer het gedrag van gekende gronden in onze streken geëxtrapoleerd wordt naar gelijkaardige gronden in semi-aride gebieden. De zogenaamde „problematische gronden” moeten betrouwbaar geïdentificeerd worden, en hun specifiek gedrag moet erkend worden in ontwerp en bouwmethodes. Dit artikel beschrijft de basiseigenschappen, de identificatiemethodes, het gedrag vanuit ingenieursperspectief en de mitigerende maatregelen voor drie typische problematische gronden: zwellende klei als een voorbeeld van grond die volumeverandering kent bij wijziging van het watergehalte, carbonaatgronden als voorbeeld van gronden waarbij de korrels verbrijzelbaar zijn en evaporieten als voorbeeld van gronden die kunnen oplossen.

MOTS-CLÉS. — Régions semi-arides; Argiles gonflantes; Sols carbonatés; Évaporites.

RÉSUMÉ. — *Comportement et risques géotechniques de quelques sols problématiques dans les régions semi-arides.* — Les sols dans les régions semi-arides peuvent présenter un comportement qui diffère de façon significative de celui de sols semblables dans les

* Paper presented at the meeting of the Section of Technical Sciences held on 28 April 2016. Text received on 3 July 2016 and submitted to peer review. Final version, approved by the reviewers, received on 22 December 2016.

** Member of the Academy; technical director Engineering Department BESIX, av. des Communautés 100, B-1200 Brussels (Belgium); invited professor *Université catholique de Louvain*.

régions tempérées. Une extrapolation du comportement des sols bien connus des climats tempérés aux sols apparemment similaires des régions semi-arides semble pour le moins risquée. Il est de grande importance de pouvoir discerner ces «sols problématiques», afin de gérer les risques techniques et financiers qu'ils représentent. Le présent article décrit, dans la perspective de l'ingénieur, les propriétés de base, les méthodes d'identification et le comportement de tels sols, ainsi que les mesures de mitigation des risques. L'attention est portée sur les argiles gonflantes en tant qu'illustration de sols sujets à des variations de volume induits par des variations du degré d'humidité, sur les sables carbonatés comme exemple de sols dans lesquels l'écrasement des particules formant le squelette détermine le comportement mécanique et enfin de sols évaporitiques illustrant les effets de la dissolution de la matière solide.

1. Introduction

The behaviour of soil when subject to loadings or to other external factors such as wetting is governed fundamentally by the structure of the skeleton, the mineralogy of the particles and the bonds between them, by past loading history and the present state. These in turn result from the origin of the ground material, its tectonic and loading history, the effects of weathering and transport, and physico-chemical processes during its geological history. Interaction of the climate with the soil during its history, and still today, is one of the key factors that affect the ground's present state and behaviour. For these reasons, differential behaviours of soils in different climates may be expected: soils that are classified at first glance as very similar may have different fundamental physical properties and behave very differently in temperate and arid climate regions. Other soils are specific to semi-arid areas, and not encountered in temperate regions. All such soils are often grouped under the general term 'problematic soils'.

Underestimation of the specific aspects of 'problematic soils', due for example to extrapolating the behaviour of similar ground in temperate climates towards soils in arid regions, or by lack of acknowledgement of their specific behaviour, entails very significant geotechnical risks which may have dramatic consequences in terms of human life, project planning and costs. Additionally, soil investigation at the construction site is often limited, increasing the risk of failing to notice the presence or the specific behaviour of problematic soils.

The map on figure 1 below presents the arid and semi-arid areas in the world (MEIGS 1953) supplemented by dots indicating where the Belgian construction and dredging industry has been, and still is, active during the last decades, creating a yearly turnover of several billions of dollars. The map illustrates clearly that problematic soils in semi-arid areas are a very relevant concern for the Belgian construction industry, involving significant risks and opportunities.

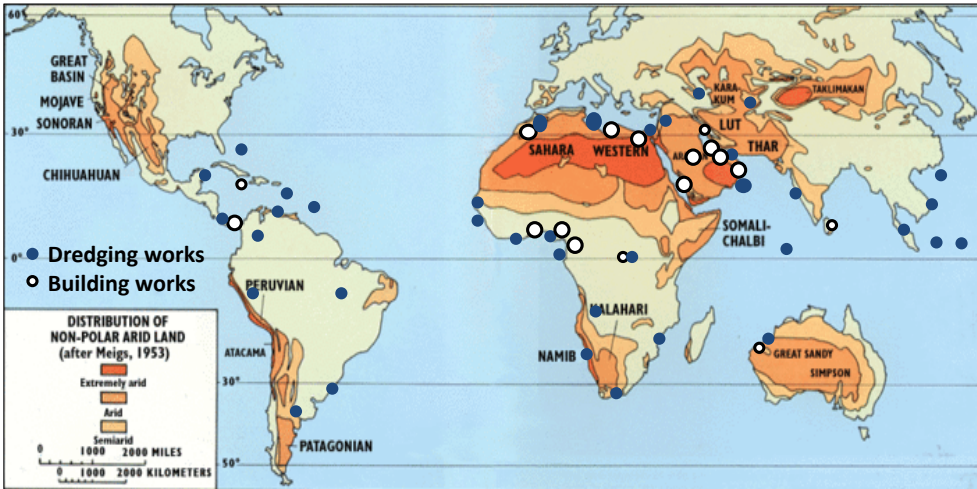


Fig. 1. — Locations of Belgian building and dredging projects in semi-arid regions (basic map after MEIGS 1953, location dots added).

The primary way of mitigating the geotechnical risks in semi-arid areas is the identification of the problematic soils and a good knowledge of their peculiarities. These soils vary widely, from fine-grained ‘clay’ soils to coarse-grained ‘sand’ and to rocks, both weak and hard. Soils often exhibit cementation to a variable extent. The present paper describes the basic properties, identification methods, engineering behaviour and risk mitigation for three typical problematic soils and engineering conditions:

- Expansive clay, as an example of fine-grained soils subject to volume change due to causes other than loading, such as wetting and drying-out. Expansive clay is relevant for foundation and infrastructure engineering in on-shore conditions.
- Carbonate sands and weak carbonate rock, as an example of usually coarse-grained, eventually cemented soil, of which the particles forming the skeleton are crushed and altered by loading. Carbonate sands — both natural deposits and hydraulic fills — are relevant for foundation works, dredging and ground improvement works. Weak carbonate rocks are relevant for off-shore piling.
- Evaporites as an example of rock or masses that dissolve when wetted, leading to alteration of the mass. Evaporites are relevant for foundation and infrastructure engineering in on-shore conditions.

2. Expansive Soils: Swelling Clay

2.1. INTRODUCTION

Expansive soils are characterized by a swelling behaviour caused by the adsorption of water molecules in the structure of specific clay minerals, and reversely by shrinkage when drying out. The swelling behaviour provokes soil heave or, when volume expansion is constrained, swelling pressures. Expansions of 10 % are not uncommon. The heave, or the swelling pressures, may lead to severe damage to infrastructure and utilities, and to lightweight buildings supported by either spread or pile foundations, unless specific design and construction provisions are made and mitigative measures taken.

2.2. THE PHENOMENA

Clay results from the weathering and physico-chemical decomposition of rocks. The clay particles are formed by the stacking of sheets (platelets) and needles, composed themselves by the alternation of tetrahedral silica units and octahedral alumina units. The clay minerals are characterized by basic structural units in which two or three sheet layers are stacked and bond together.

Figure 2 illustrates how individual clay mineral groups (kaolinite, illite, montmorillonite, ...) are formed by typical stacking arrangements of sheets of basic structural units. The sheets have large specific surfaces. Electric charges attract the layers to each other. In clay minerals some of the tetrahedral or octahedral positions may be occupied by other cations than those of the ideal structure. As a result of this so-called isomorphous substitution, the clay particle obtains a net negative charge. Other cations such as Na, K, Ca, and Mg are attracted to maintain electrical neutrality. Most of these cations are exchangeable. These not-equilibrated charges attract H_2O dipoles nesting between the sheets. Some clays have strong bonds and low cation exchange capacity. They remain stable. However, clay minerals with very large specific surfaces and high levels of such free cations may attract quite a large amount of H_2O dipoles between the platelets, causing the structure to swell.

Figure 3 illustrates the absorption of H_2O dipoles between the sheets leading to swelling of the clay. The nature of the clay, the stacking of the sheets and the presence of any material that increases bonding between the minerals are key factors influencing the swelling behaviour. At macroscopic scale, swelling is provoked by the adsorption of water molecules by the clay minerals forming the soil: the larger the specific surface of the clay minerals, the lower the salt content in the pore water, the weaker the valence of the cations, the greater the swelling potential of a clay. Typically montmorillinitic clay, the sheets of which are composed of smectite, have large quantities of exchangeable cations between the unit

cells. This exchange capacity and the very large specific surface of smectite lead to significant water adsorption into the mineral, hence substantial swelling when wetted. This makes montmorillonite clay particularly prone to swelling.

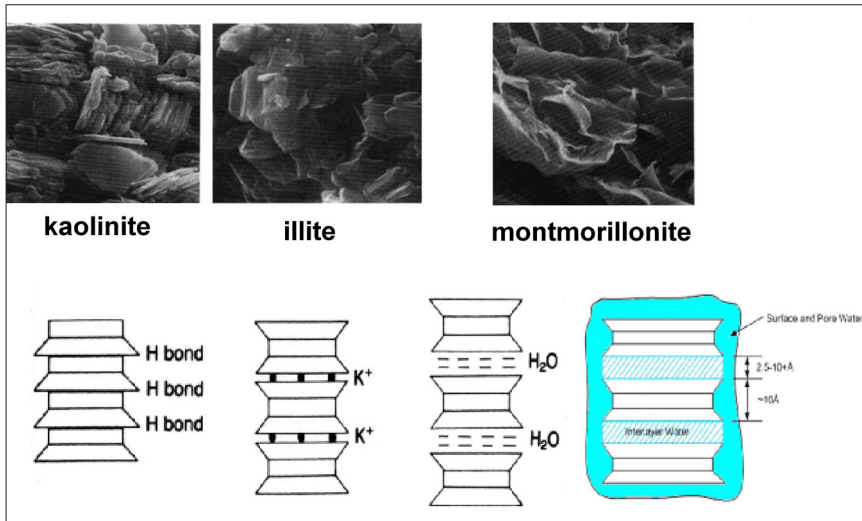


Fig. 2. — Stacking of elementary sheets and bonds for three typical clay families.

Conversely, drying-out reduces the volume of the soil mass, sometimes accompanied by cracking.

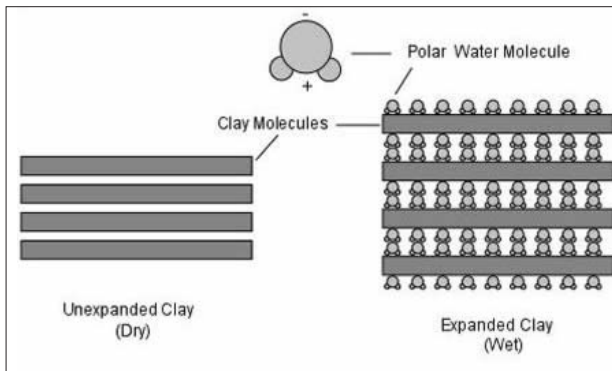


Fig. 3. — Schematic illustration of the effect of H_2O dipole absorption between elementary clay sheets.

Although volume expansion of hard plastic clay may also develop under certain circumstances in temperate climates, the most severe situations of swelling occur in semi-arid areas with clay lying at, or close to the soil surface and where evaporation exceeds

the inflow of water during long periods. This type of ‘problematic soil’ is found in many places all over the world, especially in arid and semi-arid regions. Large areas of clayey soils containing large amounts of smectite are distributed throughout the world, including extensive areas in Australia, Sudan, the southern and western states of the USA, Egypt, Saudi Arabia, Ethiopia, Chad, Ghana, and India.

2.3. ENGINEERING CONSEQUENCES

Where expansive soils are present, they generally will not cause any problem if their water content remains constant. When water is added, however, the swelling process starts. The greatest damage occurs in situations of significant or repeated moisture content changes. Typical consequences of swelling and shrinkage are:

- Differential movements of foundations leading to building damage such as severe cracking or local failure (fig. 4, left). These movements redistribute the structural loads, concentrating them on portions of the foundation, producing large variations of moments and shear forces in the structure not taken into account in standard design practice.
- Upwards friction exerted by the soil heaving along piles, lifting the pile from its foundation layer and producing internal tensile forces in the pile shaft (fig. 4, right).
- Horizontal stresses against buried walls may become significantly larger than the ground pressure at rest, which is usually applied for the design of walls.
- Damage to infrastructure (roads, utilities) due to large scale differential heave and shrinkage movements of the surface (fig. 5).
- Shallow pipes buried in the zone of seasonal moisture fluctuations are exposed to large stresses. Water leaking from damaged piping systems can exacerbate the swelling damage.

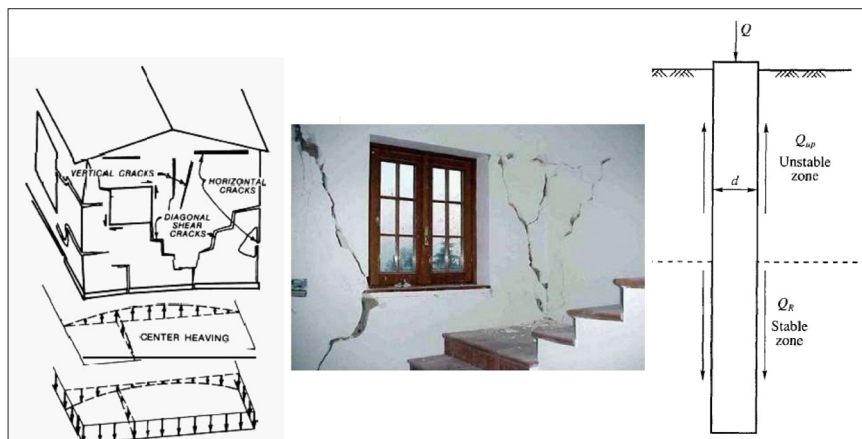


Fig. 4. — Effect of swelling on differential settlement of lightweight buildings supported by spread foundations (left) and on the tensile force on piles.



Fig. 5. — Effect of differential heave on roads and infrastructure.

Damage can occur within a few months of construction, may develop slowly over a period of several years, or may not appear for many years until some activity occurs to disturb the soil moisture. The probability of damage to structures on swelling foundation soils increases if the climate and the effects of construction and occupancy tend to promote moisture changes in the soil. Types of structures most often damaged by swelling soil include foundations and walls of residential and light (one- or two-storey) buildings, highways, canal and reservoir linings, and retaining walls. Lightly loaded one- or two-storey buildings, warehouses, residences, and pavements are especially vulnerable to damage because these structures are less able to withstand the differential heave of the swelling foundation soil compared to heavy, multi-storey structures which exert foundation pressure exceeding the swelling pressure.

2.4. IDENTIFICATION OF SWELLING CLAY

Identification of swelling clay as a factor in engineering problems calls for a stepwise approach, starting from diffuse information and increasing in reliability with the help of concordant information, specific testing and sometimes also mineralogical analysis.

A first step consists in the analysis of published geotechnical hazard maps, filed history and any other surveys carried out in the past. Visual inspection of the site may provide additional clues. Results of basic soil investigation often provide useful indirect indications: a unit weight of clay soil in excess of 19 kN/m^3 , SPT blow counts N_{60} larger than 15 or CPT cone resistance q_c value larger than 1.5 Mpa ,

and/or moisture content lower than 15 % are indications of risk of high swell potential. Several authors also present early identification charts based on water content, plasticity index, liquid limit and shrinkage strain. All these early indication methods should not be taken as conclusive, but may indicate the need for further investigation, especially if more than one clue appears in this early evaluation.

A second step consists in the interpretation of the combined results of several traditional tests as indicated in tables 1 and 2, which may confirm the risk of swelling.

Table 1

Data for estimating probable expansion/swelling pressure for expansive soils (CHEN 1975).

% particles < 74 μ	Liquid limit (%)	SPT (N)	Probable % volume change	Swelling pressure (MPa)	Degree of expansion
> 95	> 60	> 30	> 10	> 1	Very high
60-95	40-60	20-30	3-10	0.25-1	High
30-60	30-40	10-20	1-5	0.15-0.25	Medium
< 30	< 30	< 10	< 10	0.05	Low

Table 2

Data for estimating probable expansion/swelling pressure for expansive soils
(HOLTZ & GIBBS 1956)

% particles < 1 μ	Plasticity index	Shrinkage limit (%)	Probable % volume change	Degree of expansion
> 28	> 35	< 11	> 30	Very high
15-23	25-41	7-12	20-30	High
13-20	15-28	10-16	10-30	Medium
< 15	< 18	> 15	< 10	Low

Classification charts have been developed, based on the activity A of the clay and its plasticity index. The activity A for natural soils is defined here as:

$$A = I_p / (C - 10)$$

where I_p = plasticity index and C = percentage of clay size finer than 0.002 mm by weight

The chart proposed by SEED *et al.* (1962) is shown below as an example:

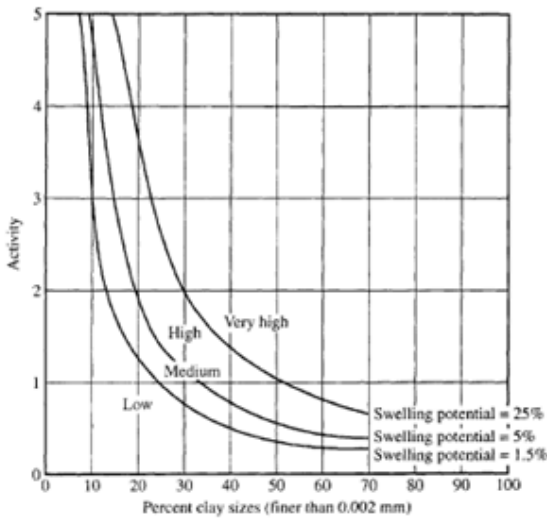


Fig. 6. — Classification chart for swelling potential according to SEED *et al.* (1962).

In the third step, quantitative information can be obtained by specific wetting-induced tests making it possible to measure the swelling behaviour or the swelling pressure (see also ASTM D 4546). The wetting-induced swell can be used to develop estimates of heave or settlement of a confined soil profile. These tests can also be used to estimate the magnitudes of the swell pressure and the free swell strain. The selection of test methods, loading, and wetting sequences should simulate field conditions as closely as possible because relatively small variations in density and water content, or in the sequence of loading and wetting, can significantly alter the test results. Typical tests for swelling clays are:

— free swell test. The free swell is defined as:

$$S_f = (V_f - V_i)/V_i \times 100 (\%)$$

where V_i = initial dry volume of poured soil and V_f = final volume of poured soil. The free swell value increases with plasticity index. HOLTZ & GIBBS (1956) suggested that soils having a freeswell value as low as 100 % can cause considerable damage to lightly loaded structures and that soils having a free swell value below 50 % seldom exhibit appreciable volume change even under light loadings.

- Oedometer swell test to determine the swelling potential, defined as the percentage of swell of a laterally confined sample in an oedometer test which is soaked under a surcharge load of 7 kPa after being compacted to maximum dry density at optimum moisture content.
- Measurement of swelling. The swelling pressure is defined as the pressure required for preventing volume expansion in soil being wetted. Swelling

pressure is measured by stress or strain in controlled oedometer testing. A test set up is illustrated in figure 7 (left).

It should be noted that the swelling pressure measured in a laboratory oedometer is different from that in the field. The actual field swelling pressure is always less than the one measured in the laboratory.

As a last step, mineralogical analyses of clay can be performed to identify the presence of swelling-prone montmorillonite minerals. X-ray diffraction is particularly well suited for the identification of the clay minerals (see fig. 7, right).

In-situ measurements of groundwater levels and suction pressures and their variations with time and rainfall or other causes of wetting provide information on variations of moisture content. This knowledge is useful in risk assessment and may be used as input for design calculations.

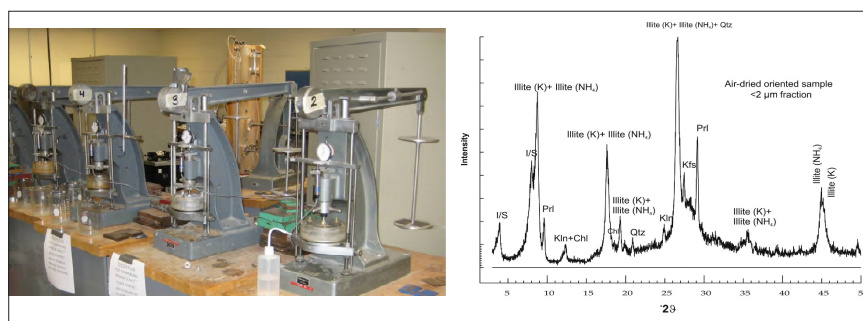


Fig. 7. — Oedometer test equipment for measuring swelling pressure and result of X-ray analysis of the mineralogical composition of clay.

2.5. MITIGATION MEASURES

Different approximate methods have been developed to estimate the amount of swell and swell pressures. Usually the methods are based on a 1D approach. A practical approach was proposed by VAN DER MERWE (1964), which is based on an estimate of the strain depending on a swell potential class combined with strain reduction factors depending on the depth below ground surface. Technical Manual TM 5-818-7 (US Army 1983) gives methods to predict heave, differential heave and time effects. Reliable predictions of future potential differential heave are often not possible because of the many unpredictable variables, including for instance future availability of moisture from rainfall and other sources, uncertainty of the exact locations of heaving areas and the effects of human occupancy and use.

Mitigation measures against swelling and shrinkage are numerous and can be classified in three groups:

- Mitigation through adequate design options and detailing provisions in foundation and structural design, typically:
 - For spread foundations: designing the foundation to cause foundation pressure at least equal to swelling pressure in order to compensate swelling by pressure; leaving areas in between the foundation pads allowing heave to develop freely; designing all foundations at the same level.
 - For pile foundations: locating the pile base below the expansive layer; the foundation should be designed so that the downward load on the pile from the structure is larger than the upwards shaft friction caused by the heave of the swelling clay. Where this is not possible, or where the upward heave force may develop before enough downward load is applied by the construction to compensate the heave load, the geotechnical and structural design of the pile should account for the net resulting upwards force. Also provision may be applied to reduce friction between the pile shaft and the heaving soil.
 - Structural concept: allowing flexibility in the structure to avoid the development of cracks.
 - For underground elements (walls, buried structures): using adequate fill material (non-swelling); providing buffers to allow expansion; designing reinforced concrete walls against swelling pressures.
- Treatment of the swelling clay, of which the most widely used is lime treatment. The efficiency of these methods is usually limited to specific situations.
- Avoidance of change in water content in the soil. This is the most important measure to mitigate the risk of swelling at source.
 - Catchment systems for rain, spray and surface water in the vicinity of the foundations, *e.g.* watertight slab around the building;
 - Analysis of the effects of irrigation, trees, etc. on the moisture content of the soil;
 - Watertightness, accessibility for inspection and maintenance of sewage, fluids piping in all circumstances during design life; if necessary catchment systems for leaking water.

The selection of mitigation measures should be based on project-specific risk analyses for the planned structures and surroundings. General and local codes of good practice often provide good guidance for managing the risk of swelling soils.

3. Crushable Soils: Carbonated Sands and Weak Rock

3.1. INTRODUCTION

Carbonate soils are characterized by alteration and crushability of the particles when loading is applied and by a void ratio at the initial state which is much higher than that of silica sands. Crushability and volume reduction affect significantly the behaviour of carbonate sand compared to ‘uncrushable’ silica sands. Loading to working stress levels and to failure causes crushing of the weak particles. Crushing leads to a modified particle size distribution and volume reduction. This diminishes the confining stress, which as a consequence reduces the stiffness and the bearing capacity of the carbonated soil.

3.2. THE PHENOMENON

Sands on beaches and shorelines can be divided into two major groups by mineralogical composition. One is the group commonly referred to as siliciclastic sands. These originate from fragmentation of rocks. The particles are composed mainly of silicate materials such as quartz (SiO_2). They may also include feldspars, micas and other minerals. The grains are often transported over long distances.

The other group is the carbonate sands, composed of CO_3 . Carbonate soils are abundant in the coastal areas and continental shelves of the tropical and temperate regions of the world. They are frequently found in areas where offshore oil is produced.

Carbonate sands contain large amounts of CaCO_3 (calcium carbonate); however, other types of carbonates may occur. In off-shore marine environments, these sediments are composed primarily of skeletal remains of marine organisms. These organisms used calcium carbonate to form their skeletons and shells. When the organisms died, these became part of the beach sand. The grains are thus generally younger than siliciclastic grains, most of which formed in the geological past. Also, the grains of most carbonate sands have formed at or very close to the location where they are currently found, unlike siliciclastic grains that have formed on the continents and thus at locations perhaps thousands of kilometres away. Figure 8 shows the difference between a silicon sand (left) and a carbonate sand (right).

The grain size of carbonate sediments varies widely from clay to sand fractions, but usually ranges between silt and coarse sand. The particles are composed mainly of calcite and aragonite. Carbonate sands exist naturally at relatively higher void ratios than silicate sands. Calcareous sand grains may have very different shapes, ranging from rounded grains to needle-shaped, shell-like or distinctly spiky irregular grains. Particles may include voids. The carbonate min-

erals are considerably softer than quartz grains. The particles are structurally weak because of their shape and of the weakness of the carbonate minerals. The hardness of carbonate minerals (calcite: 3 on scale of Mohs, aragonite: 4) is significantly less than the hardness of quartz minerals (hardness 7). The grains are thus highly angular but frangible due to their shape, porosity and low intrinsic strength, leading to particle damage when slipping against each other. As the deposits are young, and not subject to earlier preloading or other mechanical influence, a significant crushability and degradation of the grains forming the soil skeleton develops when normal and shear stresses are applied by loading, and especially in dynamic and cyclic loading conditions. The grains of carbonate soils can crush and break relatively easily under the effect of inter-particle stresses. The ensuing changes in particle size distribution increase the amount of fines, making the grains less angular. Crushability can be expressed through the breakage parameter introduced by HARDIN (1985).



Fig. 8. — Silica sand (left) and carbonate sand (right).

Particle degradation and crushing as well as the high void ratio play a critical role in the mechanical behaviour of carbonate sand, which can behave very differently from silica sand, where particles do not break. Fundamental properties such as strength, dilatancy and deformation behaviour are affected by breaking of the particles and differ sometimes significantly from those of the silica sands. In particular, calcareous sands undergo considerable volume reduction as a result of ‘crush-up’ when subject to compressive or shear stress beyond a certain crushability threshold. These unusual features tend to have a major effect on the behaviour during testing of carbonate sediments, and on the behaviour of foundations seated in these materials. As a result, classic sample preparation and testing methods, the classic correlation between in-situ measurements and geotechnical parameters, as well as design rules for, inter alia, bearing

capacities and settlement of foundations, which are well proven for silica sand, need to be carefully evaluated and revisited for carbonate sands.

The phenomena of carbonate sands described above are relevant in natural deposits as well as in hydraulic fills for land reclamation performed with carbonate sands.

Calcareous sediments may become lithified by cementation as a result of carbonate precipitation and crystal growth, producing various types of carbonate rocks. Cementation in calcareous soils occurs rapidly. It is a complicated physical and chemical process which is not fully understood. Age, confining pressure, water temperature and chemistry are important factors in the cementation process. Carbonate sands may cement to form rocks ranging from very weak carbonate rocks to strong limestone. The cementation, thus also the Unconfined Compressive Strength (UCS), may vary over short distances. Weak carbonated rocks are porous and the porosity too is highly variable.

3.3. ENGINEERING CONSEQUENCES OF PARTICLE CRUSHING AND DEGRADATION

3.3.1. *Engineering Properties*

The consequences for engineering properties of crushing of particles forming the soil skeleton are:

- The volume of the soil may decrease under normal stress due to crushing and rearrangement of the skeleton. The decrease of volume reduces the confining stress which in turn reduces the skeleton stiffness and resistance to the applied stresses.
- The path followed to transfer the stress through the skeleton continuously evolves with time: crushing may last during a certain period, although of course the rate diminishes with time.
- Many geotechnical parameters are not constant, but evolve as the skeleton transforms with loading and crushing.

Some consequences of crushing as they affect engineering properties are discussed below.

3.3.1.1. Dilatancy and Angle of Internal Friction

Carbonate sands are intrinsically dilatant at low stresses, even at low densities. Even at a relative density as low as 5 %, in contrast to silica sand, dilative behaviour has been shown to occur (SAFINUS *et al.* 2013) at low stresses, reflecting the greater interlocking compared with silica sand due to the very angular shape of particles. With increased confining stress, the dilatancy of carbonate sand diminishes due to particle degradation, and eventually is suppressed completely

at a relatively low stress level, as illustrated in figure 9 (HASSANLOURAD *et al.* 2014): increasing confining stress σ'_3 reduces the dilatancy angle ψ and, at a confining stress of 300 to 500 kPa, dilatancy becomes negative. Despite being highly dilative at small stresses, carbonate sands show critical confining stress at which dilation vanishes, and where the behaviour becomes contractive. This threshold stress is very low compared to that of silica sand, for which the dilatancy angle is more or less constant (GOLIGHTLY & HYDE 1988, DESROSIER & SILVA 2002). The tendency to volume reduction resulting from crushing is enhanced by the high initial void ratio and plays a fundamental role in the behaviour of foundations, as it results in a reduction of the confining stress in the field and hence a lower strength than might be expected from the relatively high peak friction angle. This is confirmed, for instance, by the observed load-settlement curve and failure mode of spread foundations on calcareous sand.

As dilatancy angle ψ and peak angle of internal friction ϕ are related, carbonate sands have high peak angles of internal friction ϕ' at low stresses, dropping severely with increasing stress, as illustrated on figure 9 below (right picture). The angle of internal friction of silica sands is quite constant over the engineering range of stresses. The difference in dilative behaviour between crushable and non-crushable materials explains why the angles of internal friction of carbonate sand and silica sand vary differently with the applied stresses. It should be noted that the relations set in the figures are not unique, but depend on the type and crushability of particles and on the initial void ratio.

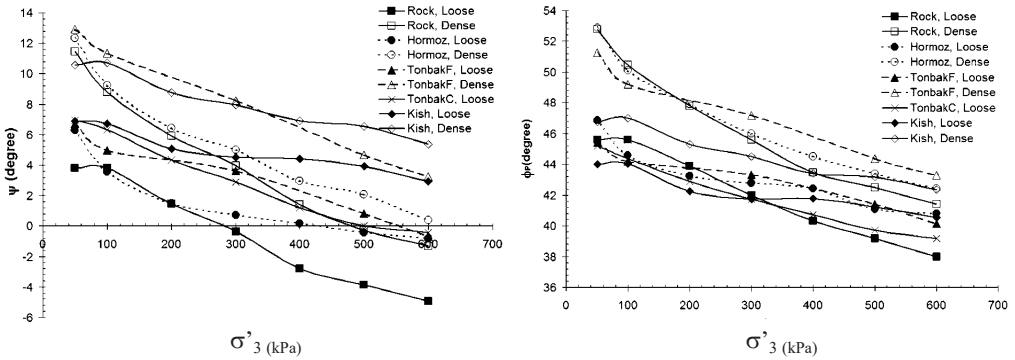


Fig. 9. — Triaxial test showing the reduction of angle of dilation ψ and angle of internal friction ϕ in loose and dense carbonate sands with increasing confining stress (HASSANLOURAD *et al.* 2014).

Cyclic loading reduces the friction angle and causes a continued volume reduction, sometimes leading to contractive behaviour (POULOS 1988). Calcareous sands are much more sensitive to cyclic loading caused by foundations than are silica sands.

Despite the tendency of volume reduction of calcareous sands, many researchers investigating the resistance of calcareous sands to liquefaction have noted a more favourable behaviour in undrained triaxial tests than silica sand at the same confining stress. Increased cyclic strength is likely the result of the angular calcareous sand particle shape. The confining stress appears to be an important parameter in pore pressure generation and cyclic resistance.

3.3.1.2. Stiffness

The stiffness of carbonate sands may be several times less than for silica sand at the same stress level, due to crushing and compressibility of the particles. Figure 10 shows the difference of E_{50} Young modulus between silica and carbonate sand. The relation between E_{50} and the normalized confining stress reflects the Janbu power-relationship between Young modulus and confining stress.

Carbonate sands are prone to creep deformation due to the redistribution over time of the stress paths through the skeleton as a result of the crushing and breaking of particles. Silica sands have neglectable creep in the range of stresses of common engineering situations.

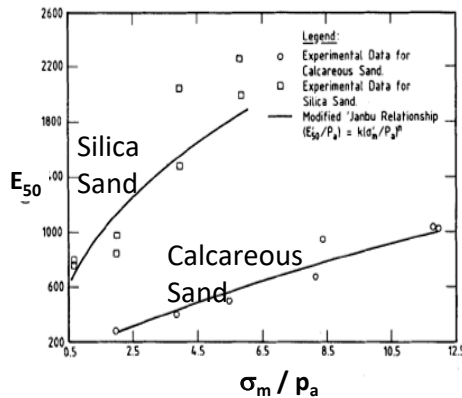


Fig. 10. — Comparison of E_{50} Young modulus for silica sand and calcareous sand as a function of confining stress for silica sand (Yeung & Carter 1989).

3.3.2. Practical Consequences for Testing and Use of Correlations in Carbonated Sands and Weak Rocks

Most classic tests to measure engineering design parameters such as shear strength and deformation can be performed successfully on carbonate sands. Sample preparation, test procedure and interpretation need revising to allow for the crushability and the angularity of the grains. Attention should be paid to the effect of particle degradation in analysing the tests and deriving the parameter value in the range of stresses relevant for the intended design. Additionally to

the usual measurements, the degree of crushing occurring during the tests should be measured. Further discussion on issues related to laboratory testing of carbonate sands can be found in WILS *et al.* (2013) and in CARTER *et al.* (2000).

The engineering properties of sand deposits are usually derived from the results of in-situ tests such as Cone Penetration Tests (CPT) or Standard Penetration Tests (SPT). Many correlations have been developed for silica sands between cone resistance q_c or blow count N_{60} and properties such as relative density (D_r), angle of internal friction (ϕ'), and oedometer modulus (E_{oed}). It should be clearly borne in mind that the penetration of the CPT or SPT probes in silica sand is obtained entirely by (plastic) displacement of the soil. In crushable soils, however, the penetration mechanism is a combination of plastic displacement and breaking of the particles. The relative amount of both mechanisms depends on a complex interaction of density of the soil, the crushability of the particles and the stress level. The penetration resistance will depend on the mechanism requiring the less energy. Thus, when particles can break, a lower energy penetration mechanism develops compared to the single plastic deformation mechanism for silica sand. The consequence is that, for the same density and effective stress level, the cone resistance (and blow count) will be less for a carbonate sand than for a silica sand. Engineering properties derived from q_c (or N_{60}) using the semi-empirical rules developed for silica sands may appear unreliable to derive the value of the property. It is however not possible to establish rules allowing transformation of the q_c or N_{60} in order to apply the existing correlations. Correlations between geotechnical parameters that are based on in-situ experience with non-crushable sands omit the specific behaviour of crushable materials. As a solution, several authors link the best-fits between cone resistance and relative density for silica and calcareous sand through a 'shell correction factor', without however revising the entire correlation. The 'shell factor' is not a unique parameter, but is different for different sands. Calibration testing for the specific carbonate sand used in the project may be useful for complex and large projects, *i.e.* calibration chamber tests for relative density, triaxial or shear tests for shear strength parameters, etc.

Reversely, the classic testing methods such as CPT for controlling compaction effects are not appropriate because of the different response of calcareous sands to cone penetration compared to silica sand. Calibration chamber tests of the CPT for the specific calcareous sand at different densities combined with laboratory testing of the basic behaviour may be a way out to address the required compaction on a sound engineering basis.

The unconfined compressive strength (UCS) of carbonated weak rocks is highly sensitive to the degree of saturation of the samples tested. Sample coring, extraction, preservation and sample preparation are key factors for achieving reliable UCS values in weak carbonated rock.

3.3.3. Example of Practical Consequences: Design of Pile-bearing Capacities in Carbonate Sands

Full-scale and model pile testing has shown that the bearing capacity of piles is severely reduced by an increase in carbon content. Table 3 indicates the maximum shaft and end-bearing capacity according to JOHNSON *et al.* (2000) and compares with the recommendations of the American Petroleum Institute (API RP2A 1993).

Prediction of bearing capacity in weakly-cemented carbonate soils is not reliable owing to the large number of factors affecting resistance. Local experience plays an important role. Clearly, preliminary static pile-load tests, robust design and appropriate control tests on working piles during execution are required in order to mitigate the risks of adverse behaviour.

Table 3

Limit skin friction and end-bearing capacities for carbonate sands and silica sands according to Johnson and comparison with limiting values as per API RP2A (rounded values, indicated with ⁽¹⁾)

Denomination	Carbon content (%)	Limit unit skin friction (kPa)	Limit unit end bearing (MPa)
Siliceous	< 50	50-110 ⁽¹⁾	2-12 ⁽¹⁾
Siliceous carbonate	50-90	16	2-5
Carbonate	> 90	8	2

3.3.4. Example of a Practical Consequence: Compaction of Carbonate Sand

Hydraulic fills are often realized with dredged carbonate sands. Hydraulic fills require compaction to manage settlements and mitigate liquefaction risks. In principle, all common compaction techniques (such as vibroflotation, deep compaction, high energy impact compaction, or rapid impact compaction) developed for silica sands may be used for any crushable sands. As the compaction techniques for granular material are based on the input of vibration or dynamic energy in the ground, they affect the particles by crushing. The crushing will influence the effectiveness and efficiency of the compaction system, resulting in closer compaction points, more passes and longer vibration. Some techniques may even become counterproductive. Specific methodologies are often required to avoid excessive crushing. Additionally, degradation of sand particles during hydrotransport increases the content of fines, thus reducing the effectiveness of compaction. Trial testing using different compaction grids and energy inputs is needed before starting production works in order to determine the optimum compaction parameters.

Compaction is commonly controlled by Cone Penetration Tests (CPT), aimed at demonstrating a minimum relative density D_r to be reached by the compaction works by means of minimum values of cone resistance q_c as a function of effective stress. Due account needs to be taken of how crushing affects cone resistance when establishing minimum q_c requirements.

3.3.5. Example of a Practical Issue: Assessment of Shaft Friction of Piles in Weak Carbonate Rock

Concrete bored (socket) piles or grouted piles are the preferred foundation solution in weak carbonate rock because the concrete or grout penetrates the asperities and irregularities of the rock, creating significantly higher friction than any other type of prefabricated, driven pile. Despite that, prediction of the bearing capacity is challenging due to the variability of the Unconfined Compression Strength (UCS) of the weak rock over the site and the variability of the existing prediction rules. Figure 11 illustrates the variability of the UCS and the calculated unit skin friction as a function of the UCS by different well-established calculation rules.

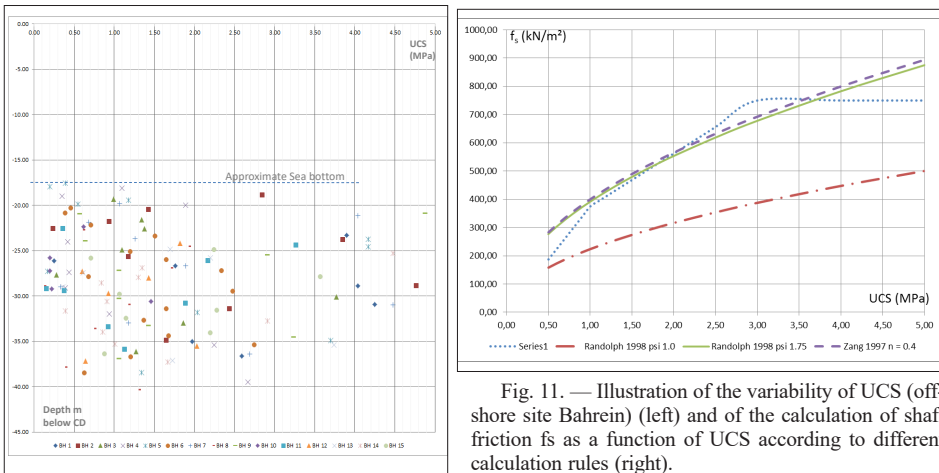


Fig. 11. — Illustration of the variability of UCS (off-shore site Bahrein) (left) and of the calculation of shaft friction f_s as a function of UCS according to different calculation rules (right).

Cautious estimates of the material property value need to be made, accounting for its variability and the autocorrelation length compared to the extent of soil mass involved in the problem being analysed. When selecting characteristic material properties for the design process, variance reduction in the vertical direction may be used; however, this should be accompanied by an analysis of the variance in the horizontal direction of the reduced parameter value. The reliability of a calculation rule for a design on a given construction site will be checked by an appropriate pile-load testing program.

3.4. IDENTIFICATION AND TESTING

Carbonate soils are easy to identify by a magnifying glass or by microscope; they react evidently to HCl. Carbonate content is easy to determine in laboratory tests and should be measured in a large number of samples.

3.5. MITIGATION MEASURES

The main risks related to carbonate soils are:

- Missing or underestimating the presence and the consequences of carbonates in the ground;
- Difficulties in deriving parameter values and evaluating the in-situ state conditions and properties when using classic soil investigation and analyses;
- Low reliability (large prediction spread) of predictive calculation rules for calcareous sands and carbonate rocks;
- Variability of the cementation and UCS in weak carbonate rocks.

The design methods for carbonate soils are mainly empirical test based and are unreliable as a consequence of the large variability of carbonated sands and weak rocks. To tackle this uncertainty in foundation problems, it is necessary to perform large-scale tests such as pile tests, zone load tests and large-scale plate load tests. In soil densification works, for example in order to mitigate liquefaction, it can be useful to design and perform an appropriate field and laboratory test campaign instead of relying on the ‘translation’ of classic methods even where these have proven reliable for silica sands.

4. Evaporites

4.1. INTRODUCTION

Evaporites are a water-soluble mineral sediment that results from concentration and crystallization by evaporation from an aqueous solution. When evaporation occurs, the remaining water is enriched in salts which precipitate when the water becomes oversaturated. The nature of the evaporite formed depends on the solution, *i.e.* the chemistry of the aqueous solution. The most common evaporites are halite (salt, NaCl), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhydrite (CaSO_4) and dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) (fig. 12).



Fig. 12. — Halite (salt rock), gypsum and anhydrite (both are sulphates) crystals.

Evaporites are water-soluble but with varying solubility. When evaporites dissolve, the tight packing of the ground is lost and ground subsidence may occur as a consequence. Wetting of anhydrite leads to transformation to gypsum (hydration) and is accompanied by volume expansion, hence heave or upwards pressures.

4.2. THE PHENOMENA

Evaporites may be marine or non-marine. Typically, evaporite deposits have developed in closed marine basins where evaporation exceeds inflow. Ancient (marine) evaporites are found as thick salt domes or as layers interbedded in the bedrock.

Thick salt formation (salt domes) developed with time in marine basins and later on was covered with sediment deposits. Salt has a larger buoyancy than the overburden. This may result, in combination with faulting events, to the development of diapirs growing upwards from the salt layer, eventually extending after millions of years towards and breaking out of the soil surface, first as a dome-shaped and then as a mushroom-shaped fully formed salt diapir (fig. 13).



Fig. 13. — Formation of a diapir (above) and an outcropping diapir (Jizan, KSA); rock core in salt rock (Jizan).

Evaporites such as anhydrite and gypsum developed also as interbedding in other sedimentary rocks such as mudstones, marls and siltstones and may then appear as interbedded layers, more or less isolated blocks or concretions (fig. 14, above). In some occasions, evaporites may be included as smaller veins and nodules in a soil or rock mass (fig. 14, below).



Fig. 14. — Above: excavation showing anhydrite interbedded in siltstone (Ruwais, UAE); below: veins and nodules included in hard clay matrix.

(Coastal) sabkhas are supratidal salt-rich, flat surfaces, forming along arid coastlines (fig. 15); they are characterized by evaporite-carbonate horizons at or just below the soil surface. As such, a sabkha is not actually a deposit, but a deflation surface where

wind action has deflated the sediment down to the water table, thus allowing a secondary gypsiferous and halite ‘soil profile’ and crust to develop from ascending continental brine-rich groundwater that evaporates when reaching the soil

surface. The evaporite crusts are very weak compared to salt rock. The soil layers in which such a sabkha develops are usually soft and compressible but may be not restricted to these types.

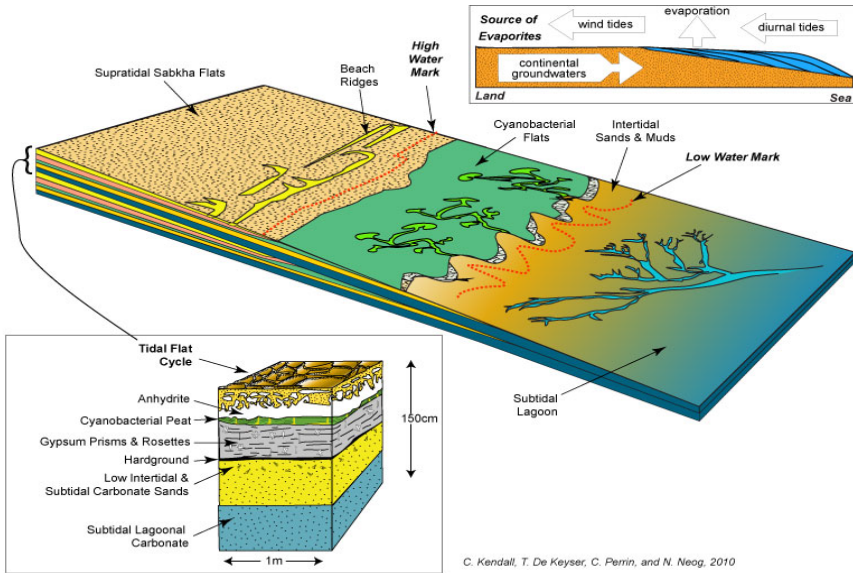


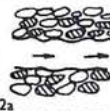
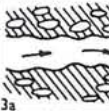
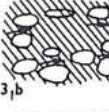
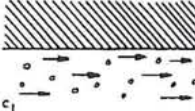
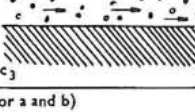
Fig. 15. — Creation of a coastal sabkha (KENDALL *et al.* 2010).

4.3. ENGINEERING CONSEQUENCES

Evaporitic rocks have usually good to very good engineering properties: UCS is quite high, the rock is ductile and quite homogeneous. At very high stress, halite may creep but this is not significant for classic engineering structures. The risk of evaporites is related to their dissolution in contact with unsaturated water. The rate of dissolution is dependent on the solvent (*i.e.* the groundwater chemistry) and the groundwater flow. Halite dissolves on a timescale of minutes to days while gypsum dissolves on a timescale of days to years.

JAMES & LUPTON (1978) described the effects of underground flows that may flush out the deposits containing different forms of soluble rocks (layers, veins, nodules; see tab. 4): the flow dissolves salt, creating conduits and steadily enlarging discontinuities and cavities by dissolution, with the consequent increase in permeability in a self-accelerating process. Dissolution of evaporites is often accompanied with the development of sinkholes and karstic phenomena.

Table 4
Interaction of flow and modes of occurrence of calcium sulphate in evaporitic soil
(after JAMES & LUPTON 1978)

Type of flow	Mode of occurrence			
	Massive deposit (1)	Detrital grains (2)	Secondary deposit (3)	Laminar deposit (4)
Fissure flow (a)	 1a	 2a	 3a	 4a
Interstitial flow (b)	 1b	 2b	 3b	 4b
Flow in an adjacent aquifer (c)	 c ₁			
c ₁ confined by gypsum or anhydrite deposit	Gypsum or anhydrite in form of deposit from 1 to 4 Permeable layer			
c ₂ confined by some other impermeable deposit and above gypsum or anhydrite	 c ₂			
	Impermeable layer Permeable layer Gypsum or anhydrite in form of deposit from 1 to 4			
c ₃ unconfined and above gypsum or anhydrite	 c ₃			
	Permeable layer Gypsum or anhydrite in form of deposit from 1 to 4			
Key to symbols (for a and b)				
 Gypsum or anhydrite				
 Limestone				
 Mudstone/shale				
 Sand grains				
 Flow of groundwater				

Key of typical descriptions of situations illustrated in table 4:

- 1a Flow through fissures in massive deposit of gypsum or anhydrite.
- 2a Flow through fissures in rock formed from gypsum sand dunes.
- 3a Flow through fissures in gypsum-cemented argillaceous or arenaceous deposit, or flow through fissures containing secondary gypsum.
- 4a Fissure flow through rock consisting of limestone or marl with thin primary gypsum/anhydrite deposit.
- 1b Interstitial flow through massive gypsum/anhydrite deposit.
- 2b Interstitial flow through deposit such as gypsum sand dunes.
- 3b Interstitial flow through gypsum-cemented sandstone in which gypsum also fills larger voids.
- 3b Interstitial flow through marls or silts containing lenses of gypsum.
- 4b Interstitial flow in laminated gypsum deposits contained in impermeable clays or silts.
- c₁ Flow in an aquifer which is confined by gypsum or anhydrite deposit.
- c₂ Flow in an aquifer which is confined by an impermeable layer but which is underlain by gypsum or anhydrite deposit.
- c₃ Flow in an unconfined aquifer above gypsum or anhydrite deposit.

Risks related to the dissolution of rock or of pockets typically are:

- Local or large-scale subsidence, which can eventually lead to collapse of the building foundation or loss of function of infrastructure situated above dissolved pockets;
- Seepage flow through soil containing veins or nodules of soluble soil has led to significant leakage or even failure of dams;
- In below-water table excavations and dewatering: increased inflow into the excavation due to the creation of water-bearing ‘pipes’ towards the excavation; this phenomenon has led to flooding of building pits.

Figures 16 and 17 illustrate some typical consequences of dissolution of salt in granular soil and in rocks.

Many different situations may cause the water flow: leakage of reservoirs or water and sewage pipes, dewatering, seepage from lakes created by artificial dams, irrigation, naturally flowing groundwater,...



Fig. 16. — Effect of subsidence due to dissolution of salt on infrastructure (left) and buildings (right) (UAE).



Fig. 17. — La Loteta dam: evidence of dissolution and subsidence observed in the gypsum unit during the excavation of the dam foundation (GUTIÉRREZ *et al.* 2015).

It is important to emphasize that chlorides and sulphates in the ground form a very aggressive environment against (reinforced) concrete.

4.4. IDENTIFICATION

Geological and historical information as well as local information and surface surveys are a first indication of the presence of evaporites. In-situ identification of evaporite soils requires borings. Salt layers are easy to identify. However, the large variability of layers and sometimes relatively small volumes of the evaporitic inclusions may hamper their identification.

4.5. MITIGATION MEASURES

Mitigation measures against dissolution of evaporites are based on:

- The avoidance of contact of flowing unsaturated water with soluble rocks. This may require specific design rules for reservoirs, fluid transport piping and utilities.
- The management of groundwater flow, *e.g.* by minimizing dewatering or insulation of soluble layers.
- The upstream saturation of groundwater by salt has been employed as a mitigation measure in dams and water reservoirs.

Sabkha soils are unsuited for foundations. They need to be removed or treated by appropriate ground improvement techniques and surface water management. As the layers below the sabkha crust are often compressible, they also need to be treated by appropriate ground improvement, or foundations have to be supported by piles.

Specific rules apply to ensure durability of reinforced concrete structures, such as selection of appropriate type of cement, minimum concrete cover over reinforcement, limitation of crack width.

5. Conclusions

Some aspects of problematic soils have been illustrated through the examples of expansive soils, carbonated sands and evaporites. Besides those, lots of other problematic soils exist.

The Belgian construction and dredging industry is very often faced with such problematic soils. They affect the design and construction processes and involve large technical and financial risks. Problematic soils have to be identified and well understood right at the start of a project in order to mitigate the risks efficiently.

Belgian expertise clearly exists, but is piecewise and unstructured, and spread across several actors. University-level research is devoted to a limited number of issues. The expertise gained by private companies is confined to their market segments, most of it having been created 'bottom-up', much too often from problems encountered during projects.

In view of the economic importance, risks and opportunities, a process of reflection is needed on how to ensure the development, sustainability and transfer of theoretical and engineering knowledge as well as expertise on problematic soils within the Belgian geotechnical engineering community. Local expertise also needs to be introduced through involvement of experts from the semi-arid areas.

REFERENCES

- American Petroleum Institute (API) 1993. Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing fixed Offshore Platforms: Working Stress Design. — API.
- ASTM D4546 – 96 2003. Standard test methods for one-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils. — American Society for Testing and Materials.
- CARTER, J. P., AIREY, D. W. & FAHEY, M. A. 2000. Review of laboratory testing of calcareous soils. — *In*: AL-SHAFAEI, K. A. (Ed.), *Engineering for Calcareous Sediments* (2nd International Conference, Bahrain, 21-24 February 1999). Rotterdam, Balkema, pp. 401-431.
- CHEN, F. H. 1975. *Foundations on expansive soils*. — Amsterdam, Elsevier.
- Department of the Army USA 1983. Technical Manual TM 5-818-7. *Foundations in expansive soils* (September).
- DESROSIERS, R. & SILVA, A. J. 2002. Strength behaviour of marine sands at elevated confining stresses. — *Marine Georesources and Geotechnology*, **20**: 1-19.
- GOLIGHTLY, C. R. & HYDE, A. F. L. 1988. Some fundamental properties of carbonate sands. — *In*: JEWELL, R. J. & ANDREWS, D. C. (Eds.), *Engineering for Calcareous Sediments* (International Conference, Perth, 15-18 March 1988). Rotterdam, Balkema, vol. 1, pp. 69-78.
- GUTIÉRREZ, F., MOZAFARI, M., CARBONEL, D., GÓMEZ, R. & RAEISI, E. 2015. Leakage problems in dams built on evaporites. The case of La Loteta Dam (NE Spain), a reservoir in a large karstic depression generated by interstratal salt dissolution. — *Engineering Geology*, **185**: 139-154.
- HARDIN, B. O. 1985. Crushing of soil particles. — *Journal of Geotechnical Engineering*, **111** (10): 1177-1192.
- HASSANLOURAD, M., SALEHZADEH, H. & SHAHNAZARI, H. 2014. Drained shear strength of carbonate sands based on energy approach. — *International Journal of Geotechnical Engineering*, **8** (1).
- HOLTZ, W. G. & GIBBS, H. J. 1956. Engineering properties of expansive clays. — *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **121**: 641-663.
- JAMES, A. N. 1992. *Soluble materials in civil engineering*. — New York, Ellis Horwood Ltd.
- JAMES, A. N. & LUPTON, A. R. 1978. Gypsum and anhydrite in foundation of hydraulic structures. — *Geotechnique*, **28**: 249-272.

- JOHNSON, S., AUDIBERT, M. E. & STEVENS, R. F. 2000. PCPT-based method for selecting upgraded pile foundation design parameters in carbonate sand. — *In*: AL-SHAFEI, K. A. (Ed.), *Engineering for Calcareous Sediments* (2nd International Conference, Bahrain, 21-24 February 1999). Rotterdam, Balkema, pp. 473-480.
- KENDALL, C. NEOG, N., RAO, S., AL-MAYYAS, R., DE KEYSER, T. & PERRIN, C. 2011. Evaporite facies: A key to the mid-Mesozoic sedimentary stratigraphy of North Kuwait. — Paper adapted from poster presentation at AAPG International Conference and Exhibition (Calgary, Alberta (Canada), sept. 12-15, 2010).
- MEIGS, P. 1953. World distribution of arid and semi-arid homoclimates. — *Reviews of Research on Arid Zone Hydrology* (Paris, UNESCO, Arid Zone Programme), **1**: 203-210.
- POULOS, H. G. 1988. The mechanics of calcareous sediments (John Jaeger Memorial Address). — *Australian Geomechanics* (Spec. No.), pp. 8-41.
- RANDOLPH, M. F., JOER, H. A. & AIREY, D. W. 1998. Foundation design in cemented soils. — *In*: EVANGELISTA, A. & PICARELLI, L. (Eds.), *The Geotechnics of Hard Soils – Soft Rocks* (2nd International Seminar, Naples, 12-14 Oct. 1998), vol. 3, pp 1373-1387.
- SAFINUS, S., HOSSAIN, M. S. & RANDOLPH, M. F. 2013. Comparison of stress-strain behaviour of carbonate and silicate sediments. — *In*: *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Foundation* (Paris, 2-6 September 2013), pp. 267-270.
- SEED, H. B., WOODWARD, R. J. & LUNDGREN, R. 1962. Prediction of swelling potential for compacted clay. — *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, **88** (3): 53-87.
- VAN DER MERWE, D. H. 1964. Prediction of heave from the plasticity index and percentage of clay fraction of soils. — *Transactions of the South African Institution of Civil Engineers*, **6**: 103-107.
- WILS, L., VAN IMPE, W. F., HAEGEMAN, W. & VAN IMPE, P. O. 2013. Laboratory testing issues related to crushable sands. — *In*: *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Foundation* (Paris, 2-6 September 2013), pp. 275-278.
- YEUNG, S. K. & CARTER, J. P. 1989. An assessment of the bearing capacity of calcareous and silica sands. — *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, **13** (1): 19-36.

Het leefmilieu in de Belgische ontwikkelingssamenwerking (samenvatting)*

door

Ludo ROCHETTE**

TREFWOORDEN. — Veranderingsfactoren; Ontwikkelingspaden; Klimaatverandering; Milieudegradatie; Natuurlijke rijkdommen; Belgische OS-wet; Visie; Productie- en Consumptiepatronen; Driesporenbeleid, thematisch, sectoraal, beleidscoherentie; Duurzaamheid; Strategie-uitvoering.

I. De strategie vertrekt vanuit de premisse van veranderingsfactoren die onze wereld beïnvloeden en waarop de post-2015-*Sustainable Development Goals* een antwoord trachten te geven.

II. Duurzame ontwikkeling die economische groei en menselijk welzijn stimuleert binnen planetaire grenzen, moet nieuwe ontwikkelingspaden aanreiken om adequaat te antwoorden op de gevolgen van klimaatverandering, degradatie van het milieu en uitputting van natuurlijke rijkdommen.

III. De Belgische Ontwikkelingssamenwerkingswet integreert de bescherming van het leefmilieu en van natuurlijke hulpbronnen, de strijd tegen klimaatverandering, de droogte en de wereldwijde ontbossing in al haar interventies. De Belgische ontwikkelingssamenwerking versterkt deze wet met een duidelijke visie op de leefmilieuproblematiek in de wereld: „Een kwaliteitsvol, aanvaard en duurzaam leefmilieu waar België en haar inwoners op een actieve en proactieve manier aan meewerken door op korte en lange termijn, rechtvaardige productie- en consumptiepatronen en processen voor het behoud en de bescherming van het leefmilieu uit te denken en ze doelmatig toe te passen in mondiale ontwikkelingsprocessen”.

IV. Leefmilieu-uitdagingen in de ontwikkelingslanden worden best aangegaan met een driesporenbeleid: (1) integratie van het leefmilieu door *environmental governance* via capaciteitsopbouw, bewustmaking en overdracht van kennis, technologie en competenties; (2) sectorspecifieke steun in water, duurzaam land-

* Mededeling voorgesteld tijdens de zitting van de Klasse voor Technische Wetenschappen van 23 februari 2017. Tekst reeds gepubliceerd door de Ministerie voor Buitenlandse Zaken, Buitenlandse Handel en Ontwikkelingssamenwerking (https://diplomatie.belgium.be/sites/default/files/downloads/Strategienota_Leefmilieu.pdf).

** Dienst Klimaat, Milieu en Natuurlijke Rijkdommen, FOD Buitenlandse Zaken, Buitenlandse Handel & Ontwikkelingssamenwerking.

en bodemgebruik, bosbeheer en stedelijk afvalbeheer; (3) de beleidscoherentie ten gunste van ontwikkeling tussen verschillende Belgische beleidsacties en het versterken van de complementariteit en synergie binnen de verschillende domeinen van de ontwikkelingssamenwerking.

V. Integratie van het leefmilieu zal in de bilaterale samenwerkingssectoren (onderwijs, gezondheid, basisinfrastructuur, landbouw) samen gebeuren met de drie prioritaire thema's (mensenrechten, waardig en duurzaam werk, maatschappijopbouw). Inzet van het middenveld, gedecentraliseerde besturen en privésector is nodig om de omslag naar een duurzaam ontwikkelingspad te realiseren.

VI. De uitvoering van de strategie vereist mensen en middelen. De inzet van alle actoren van de Belgische ontwikkelingssamenwerking is nodig voor de realisatie van de strategienota. De DGD-dienst "Klimaat, Milieu en Natuurlijke Rijkdommen" is coördinerend, ondersteunend en beleidsbeïnvloedend. Communicatiepapers, milieuwebsites, de KLIMOS-toolkit, wetenschappelijk onderbouwde ondersteuning door universiteiten en federale wetenschappelijke instellingen zijn belangrijk. In de partnerlanden is de strategie een referentie bij beleidsdialogen, ondersteuning van programma's en activiteiten van de lokale besturen en het lokaal maatschappelijk middenveld, steun aan de private sector en uitbouw van *Centers of Excellence*. Verplichte of vrijwillige multilaterale bijdragen, bilaterale en humanitaire middelen kunnen ingezet worden bij het verwezenlijken van de strategiedoelstellingen.

L'environnement au sein de la Coopération belge au Développement (résumé)

MOTS-CLÉS. — Facteurs de changement; Voies de développement; Changement climatique; Dégradation de l'environnement; Ressources naturelles; Loi belge relative à la Coopération au Développement; Vision, modes de production et de consommation; Politique basée sur trois axes, thématique, sectoriel, cohérence des politiques en faveur du développement; Durabilité; Mise en œuvre de la stratégie.

I. La croissance économique, les technologies, la démographie, les changements géopolitiques et les droits de l'homme influencent le monde actuel et les Objectifs de Développement durable (post-2015) y répondront.

II. Pour stimuler la croissance économique et le bien-être et respecter les limites planétaires, le développement durable doit ouvrir de nouvelles voies de développement qui permettront de répondre aux conséquences du changement climatique, à la dégradation de l'environnement et à l'épuisement des ressources naturelles.

III. La Coopération belge au Développement a une vision précise de la problématique de l'environnement dans le monde, basée sur la loi relative à la coopération au développement, qui intègre la protection de l'environnement et des ressources naturelles, ainsi que la lutte contre le changement climatique, la sécheresse et la déforestation dans le monde: un environnement durable de qualité, pour lequel la Belgique et ses habitants s'engagent de façon soutenue, active et proactive, à élaborer et à mettre en œuvre des cadres relatifs aux modes de production et de consommation plus durables et équitables, et des processus pour la conservation et la protection de l'environnement, tout en les intégrant dans les processus de développement.

IV. Pour faire face aux défis environnementaux des pays en développement, on distingue trois axes: (1) l'intégration de la conservation de l'environnement par la promotion d'une gouvernance environnementale, via le renforcement des capacités, la sensibilisation et le partage de connaissances, technologies et compétences; (2) un appui environnemental dans quatre secteurs: l'eau, l'utilisation durable des terres et des sols, la gestion des forêts et des déchets urbains; (3) la cohérence des politiques en faveur du développement des initiatives politiques belges et le renforcement des complémentarités et synergies dans les domaines de la coopération au développement.

V. L'intégration du thème de l'environnement sera appliquée aux secteurs prioritaires de la coopération gouvernementale (éducation, santé, infrastructure de base et agriculture) en reprenant les trois thèmes prioritaires (droits de l'homme, travail durable et décent, et consolidation de la société). L'engagement de la société civile, des administrations et du secteur privé est primordial pour un développement durable.

VI. La mise en œuvre de la stratégie nécessite des moyens humains et matériels. L'engagement de tous les acteurs de la coopération au développement est indispensable. Le service de la DGD «Climat, Environnement et Ressources naturelles» joue un rôle de coordination, d'avis et d'appui à la politique. Les documents de communication et d'information, les sites web consacrés à l'environnement, la boîte à outils KLIMOS ainsi que l'appui scientifique des universités et des établissements scientifiques sont importants. Dans les pays partenaires, la stratégie est d'application dans les dialogues politiques, dans l'appui aux programmes et aux activités des administrations et de la société civile, dans l'appui au secteur privé et dans la mise en place de centres d'excellence. Les contributions multilatérales obligatoires et l'aide bilatérale et humanitaire contribueront à la réalisation des objectifs de la stratégie.

In memoriam

Joseph MEYER

(Beho, 8 mars 1924 – Ottignies, 8 janvier 2016)



Joseph Meyer est né à Beho, au nord-est de la province du Luxembourg, le 8 mars 1924. L'annexion de ce petit village à l'Allemagne pendant la Seconde Guerre mondiale l'obligea à quitter la ferme natale et son village pour échapper à l'enrôlement dans l'armée nazie et il trouva refuge dans l'école agricole de Carlsbourg (institut Saint-Joseph). À la fin de la guerre, ses professeurs, reconnaissant ses qualités intellectuelles, lui conseillèrent d'entreprendre des études universitaires. Ne disposant pas du diplôme d'enseignement secondaire requis, Joseph Meyer présente et réussit l'examen d'entrée à l'Institut agronomique de l'Université catholique de Louvain

(UCL), puis il s'inscrit en première candidature. Il poursuit avec succès ses études et choisit l'orientation «agronomie des régions tropicales». En 1949, il bénéficie d'une bourse de l'INEAC (Institut national pour l'Étude agronomique du Congo belge) et il effectue un stage au centre de recherche agronomique de Yangambi: ce sera son premier contact avec l'Afrique. En 1950, il obtient, avec grande distinction, le diplôme d'ingénieur agronome. Il épouse Simone Petitjean.

Aussitôt après la fin de ses études, Joseph Meyer est engagé à l'INEAC et entame l'étape africaine de sa carrière: il passera les dix années suivantes à Yangambi, dans la division d'agrologie et, plus précisément, dans le groupe biologie-microbiologie, groupe qu'il dirigera à partir de 1957. En raison de la pauvreté des sols tropicaux en azote, le cycle de cet élément était un objectif important de recherche: apport et lessivage par les eaux de pluie, influence de la végétation et des méthodes culturales, fixation par les bactéries libres du sol et par les *Rhizobium* symbiotiques de légumineuses. Le cycle du carbone et l'évolution de l'humus sont également étudiés en relation avec la nature du sol et le type de végétation. L'étude de la mycoflore et des biocénoses du sol a conduit à l'isolement de plus de deux cent septante espèces de champignons, dont la plupart n'avaient jamais été identifiées au Congo et une douzaine étaient nouvelles pour la science. Parmi celles-ci, *Martensiomycetes pterosporus*, ainsi dénommé en hommage au professeur Martens, auquel J. Meyer vouait une grande admiration. Bien que la

phytopathologie ne fasse pas partie des programmes de la division d'agrobiologie, ce domaine a été approché par une étude de la flétrissure fusarienne du cotonnier.

Les congés en Europe sont mis à profit pour effectuer des stages: au *Commonwealth Mycological Institute* de Kew (1954), à l'Institut de Botanique de Turin, au laboratoire de phytopathologie tropicale du Muséum de Paris (1956), à la Station expérimentale de Rothamsted en Grande-Bretagne (1957). En 1957 également, il termine, avec grande distinction, une licence en botanique à l'UCL, avec un travail sur les ascomycètes effectué sous la direction du professeur Martens.

En avril 1960, Joseph Meyer quitte l'INEAC et s'engage dans une nouvelle voie à la faculté des sciences agronomiques de l'UCL; il est assistant, puis chef de travaux, pour les chaires de microbiologie (professeur Simonart) et de phytopathologie (professeur Staner). En 1962, l'Académie royale de Belgique lui décerne le Prix De Potter pour l'ensemble de ses travaux sur les champignons inférieurs et, l'année suivante, il défend une thèse de doctorat en sciences agronomiques. Il entreprend ensuite des recherches sur les *Fusarium* du sol et sur les maladies des cultures maraîchères. Il comprend très vite qu'une recherche descriptive ne suffit pas et que la protection des plantes repose sur une connaissance précise des mécanismes génétiques responsables de la variabilité et de l'adaptation des agents pathogènes, ainsi que sur l'étude des relations entre hôtes et parasites.

En 1963-64, une bourse de l'IRSIA (Institut pour l'encouragement de la recherche scientifique dans l'industrie et l'agriculture) lui permet d'accéder aux laboratoires des universités de Chicago et de Madison (Wisconsin) spécialisés dans la génétique et la biochimie de la pathogenèse. En 1965, il est nommé chargé de cours à l'UCL et commence à y développer le laboratoire de phytopathologie et de mycologie générale. La même année, il est professeur invité à l'Université Lovanium de Kinshasa, où il assure le cours de phytopathologie, et cette invitation sera renouvelée en 1969 et 1971. Le laboratoire s'équipe grâce à des subsides du FNRS (Fonds national pour la Recherche scientifique), de l'IRSIA et du FRFC (Fonds de la Recherche fondamentale collective), permettant le développement de recherches sur les viroses et les champignons phytopathogènes. Il attire de plus en plus d'étudiants et de chercheurs, belges et étrangers.

Joseph Meyer est nommé professeur en 1971 et professeur ordinaire en 1972. Il sera doyen de 1971 à 1974, période cruciale pour la faculté, avec la mise en place de ses départements et la préparation de son déménagement d'Heverlee à Louvain-la-Neuve. Une partie importante de la recherche entreprise par le laboratoire repose sur des financements assurés par l'IRSIA: Centre national de Phytovirologie, étude de la métabolisation des pesticides systémiques par les plantes, effets secondaires des pesticides, métabolisation des pesticides dans le sol, étude de l'impact de l'agriculture sur la qualité des eaux souterraines. Des programmes européens sont aussi orientés vers la fixation symbiotique de l'azote et l'influence des traitements phytosanitaires sur la qualité de la tomate. D'autres

recherches fondamentales sont entreprises sur le mode d'action des fongicides et sur les mécanismes de résistance acquise des champignons aux fongicides. Une enquête effectuée auprès des agriculteurs a abouti à la publication d'un ouvrage sur la phytotechnie et les mécanismes décisionnels pour les grandes cultures; cette enquête a également conduit à la création d'une clinique des plantes destinée à conseiller les agriculteurs dans l'identification des problèmes phytosanitaires et le choix des moyens de lutte. J. Meyer a aussi participé à la création de l'ADRAI (Association pour le Développement de la Recherche agronomique intégrée), dont l'action se poursuit aujourd'hui dans les projets de Louvain Développement.

En mai 1971, le professeur Meyer effectue une mission au Congo afin d'analyser l'état sanitaire des essais et plantations de l'INEAC; ce fut la première d'une série de missions qui ont conduit en 1994 à la création du «programme manioc». C'était aussi un retour en Afrique, qui fut suivi par la mise en œuvre d'autres programmes importants de coopération au développement agricole. En novembre 1971, il participe, au Maroc, à la création d'une chaire de phytopathologie à l'Ecole nationale d'Agriculture de Meknès, puis au projet «Défense des végétaux de la coopération belge» (AGCD) à Agadir; il a ensuite joué un rôle important dans l'enseignement de la phytopathologie à l'Institut Hassan II. En 1976, il effectue, pour la FAO, une mission près de Dakar, au Sénégal, dans le cadre de la création d'un centre de développement de l'horticulture; il y élabore le projet d'équipement d'un laboratoire de défense des végétaux qu'il visite ensuite régulièrement pour suivre la progression des travaux. En 1976 également, il entame un programme de coopération important au Burundi. L'ISABU (Institut des Sciences agronomiques du Burundi), qui poursuit dans ce pays les activités de recherche agronomique de l'INEAC, est financé par l'AGCD (Administration générale de la Coopération au Développement), et Joseph Meyer est chargé de la coordination scientifique du projet: il s'implique dans la réorganisation de cet institut, la sélection du personnel expatrié et l'évolution de la carrière des chercheurs, le financement des recherches et la formation des agronomes burundais. À la demande de l'AGCD et de l'IITA (Institut international d'Agriculture tropicale d'Ibadan), il se rend au Cameroun et au Nigeria pour la mise en route d'un programme d'amélioration des plantes à racines et tubercules. Cette collaboration s'est traduite par des programmes de recherche effectués dans le laboratoire de phytopathologie de l'UCL sur les maladies du manioc ainsi que, en 1978, par l'organisation d'un symposium international sur les maladies des cultures vivrières tropicales à Louvain-la-Neuve.

Joseph Meyer a été nommé membre associé de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer en 1972; il fut élu membre titulaire en 1985, année de son accession à l'éméritat.

Au cours de sa longue carrière, Joseph Meyer a construit un édifice que ses successeurs continuent à développer, il a contribué à la formation de nombreux scientifiques qui poursuivent son œuvre. Pendant toutes ces années, il a dû

affronter bien des obstacles dont il a triomphé par sa volonté et sa ténacité. Ses succès ne sont cependant jamais venus à bout de sa simplicité et de sa modestie. Quelques exemples montrent qu'il est toujours resté un Ardennais proche de ses origines paysannes. Après l'acquisition d'une charrue par l'INEAC, à Yangambi, il fut le premier à tester au champ ce nouvel outil. À Heverlee, puis à Ottignies, jardin et verger occupaient une grande partie de ses loisirs et l'approvisionnement du domicile en bois de chauffage resta longtemps une activité importante. Un trait peu connu de Joseph Meyer était son intérêt pour la culture. Il regrettait de n'avoir pu entreprendre des études secondaires classiques pendant sa jeunesse. Il combla ce manque après son accession à l'éméritat en s'imprégnant des civilisations anciennes à l'occasion de nombreux voyages culturels en Europe, en Asie et en Afrique. Il préparait chacun de ses voyages par une recherche bibliographique minutieuse et rédigeait ensuite un volumineux album contenant de nombreuses photos et une documentation détaillée sur les lieux visités.

Joseph Meyer est décédé à son domicile d'Ottignies le 8 janvier 2016. Il a toujours eu à cœur d'élargir ses connaissances et de les transmettre. Il restera pour tous un modèle d'intelligence et de simplicité, de rigueur et de bonté, de persévérance et d'humilité.

Jules BOUHARMONT

Jacques DENIS

(Charleroi, 6 juin 1922 – Bruxelles, 15 avril 2016)

Le père Jacques Denis est né à Charleroi en 1922. Quand il termina ses humanités en 1940, la Deuxième Guerre mondiale venait d'éclater. Il a raconté lui-même que sa demande d'entrée dans la Compagnie de Jésus avait d'abord été



rejetée, au motif qu'il ne parviendrait pas à se soumettre à la discipline requise. Il se rendit néanmoins au noviciat de la province belge, réfugié au sud de la France. Accepté, «puisque'il était là», le 21 juin 1940, il montra le sérieux de sa démarche par la persévérance qu'il mit non seulement dans sa vocation, mais dans tout ce qu'il entreprit par la suite.

Je l'ai personnellement connu comme professeur de géographie au collège Saint-Servais de Liège en 1947-1949. C'est lui qui m'a donné le goût de l'étude des villes. Ordonné prêtre le 15 août 1952, il fut ensuite orienté vers un doctorat en géographie sous la direction de Pierre Georges, thèse qu'il défendit à

Paris en 1958 sous le titre «Le phénomène urbain en Afrique centrale». Il avait pour la préparer bénéficié d'une bourse de l'IRSAC (Institut pour la Recherche scientifiques en Afrique centrale) qui lui permit de mener en 1955 et 1956 des enquêtes dans une série de villes. Son attention était centrée sur la démographie, le travail et l'habitat, essentiellement des populations africaines. Il publia dès avant la défense de sa thèse des articles: en 1955 sur Stockholm et Pointe-Noire; en 1956 sur Léopoldville (Kinshasa), Coquilhatville (Mbandaka), Élisabethville (Lubumbashi), Jadotville (Likasi) et sur une colonie agricole européenne en Angola; en 1958 sur Fort-Lamy (Ndjamena). Il m'avait laissé pendant ces années la malle des livres de géographie dont il disposait et avait ainsi à nouveau contribué à mon orientation. La géographie humaine était sa passion; il s'efforçait de comprendre la place et les formes de l'urbanisation, ainsi que l'intégration des villes dans l'aménagement de l'espace. C'était aussi un homme du présent, soucieux de s'insérer dans les questions d'actualité et de contribuer à l'avenir des sociétés.

En 1960, il entra comme professeur de géographie aux Facultés Notre-Dame de la Paix de Namur. Il allait y vivre cinquante-quatre ans, jusqu'en 2014. Il y

fut le fondateur du département de géographie et contribua particulièrement au développement de la faculté des sciences. Il fut simultanément dans les années 1960 professeur visiteur à l'Université de Bujumbura et publia des travaux remarquables sur de nouveaux sujets: la population et la géographie urbaine de la Belgique, les Yaka du Kwango, la capitale de l'Éthiopie, Addis-Ababa. Ces travaux conduisirent à sa nomination comme membre associé de la Classe des Sciences morales et politiques (actuelle Classe des Sciences humaines) de notre Académie le 9 avril 1968.

Recteur des Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix de 1969 à 1975, il entreprit un important plan d'expansion de l'institution, qui allait devenir en 2013 l'Université de Namur. Avec l'architecte Roger Bastin, qui avait déjà construit pour les jésuites le Collège interracial de Bujumbura (1955-1957), il conçut un vaste complexe ancré au cœur de la ville de Namur dont le premier bâtiment fut la Bibliothèque Moretus-Plantin (1970-1978), à partir de laquelle on peut atteindre aisément toutes les facultés. La faculté de droit et l'institut d'informatique, qui était le premier du genre en Belgique, furent mis en chantier l'année suivante (1971-1973) dans sa périphérie immédiate. Les constructions continuèrent ensuite avec la chapelle des facultés (1976-1977), l'institut des sciences médicales (1977-1981) et la rénovation, pour l'Université, de l'ancien arsenal de Namur (1977-1982) édifié par Vauban en 1692-1693.

Ces travaux et responsabilités n'empêchèrent pas le père Jacques Denis de participer aux séances de l'Académie, comme en témoigne sa bibliographie. Il y fut promu au rang de membre titulaire le 9 mai 1978. Ses horizons, qui s'étaient d'abord élargis de l'Afrique centrale à l'Afrique orientale, s'ouvrirent aussi en 1969 et 1974 à l'Afrique occidentale et au Maroc, dont il étudia l'organisation de l'espace. A partir de la deuxième moitié des années 1970, son champ d'investigation se porta également sur l'Asie orientale, dont il visita le Japon, la Corée, Hong-Kong, Macao, les Philippines et Singapour. Il publia dans le *Bulletin de la Société belge d'Études géographiques* en 1977 une analyse de l'urbanisation au Japon et en 1980 une étude plus large sur les villes nouvelles et l'organisation de l'espace en Extrême-Orient. La même année 1980 paraissait le volume de la collection *Que sais-je?* qu'il rédigea sur Hong-Kong et qui le rendit célèbre.

De 1980 à la date de son éméritat en 1987, le père Denis fut directeur de la Bibliothèque Moretus-Plantin. Il eut l'honneur de publier des articles de grande synthèse: un panorama de la géographie internationale en 1981, une géographie du développement dans les pays du Tiers-Monde en 1982 et un bilan mondial de la recherche géographique en 1985. Il est alors au sommet de sa carrière universitaire. Homme de savoir, d'autorité et de vision, il est élu en 1986 président de l'Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, mais aussi président du Comité national de Géographie de Belgique. Un de ses derniers grands livres sera «Le phénomène urbain en Asie orientale», paru en 1987.

Sa carrière scientifique ne fut pas seulement celle d'un chercheur passionné, travaillant avec intelligence et savoir-faire, celle d'un bâtisseur de l'Université

de Namur. Il fut aussi un visionnaire et un meneur d'hommes. Il fit œuvre de précurseur en créant en 1970 l'institut d'informatique qui emploie aujourd'hui deux cents chercheurs, offre neuf programmes de *master*, cinq centres de recherche et trois *spin-offs* (2016). Lors de son inauguration, il déclarait: «L'informatique ne doit pas être l'instrument d'une nouvelle servitude mais au contraire, celui d'une liberté de l'esprit». Il fut aussi le promoteur des maîtres et des jeunes qui furent recrutés pour animer les bâtiments qu'il construisait. Il proposa la nomination de plusieurs, et de moi-même, comme membres de l'Académie.

Chercheur actif, il avait en outre le sens de l'organisation et le goût de la bonne gestion. Après son éméritat, il assuma pendant dix ans à Bruxelles la présidence de l'œuvre des Bollandistes, dont il renouvela l'installation et restructura les services. Il y fut aussi le bâtisseur de la Maison La Colombière, dans l'infirmerie de laquelle il a vécu ses deux dernières années. Il l'avait conçue pour y favoriser la vie de communauté et il tint à y participer lui-même jusqu'à la limite de ses forces.

C'est un honneur pour moi d'avoir pu exprimer ici la très large estime de l'Académie à son égard et nos remerciements pour le travail exemplaire qu'il a mené pour la promotion d'une vraie culture de promotion humaine et de développement.

LÉON DE SAINT MOULIN
(en coll. avec Jean-Claude MICHA
et les pères Pierre SAUVAGE et Pierre HUPEZ)

BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE

- | | |
|------|---|
| 1955 | 1. La concentration urbaine et ses problèmes: Stockholm. — <i>Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques</i> , XXIV (1): 117-144. |
| | 2. La nouvelle carte de l'Afrique équatoriale française. — <i>Zaire</i> , 10 : 1069-1073. |
| | 3. Pointe-Noire. — <i>Cahiers d'Outre-Mer</i> , VIII : 350-368. |
| 1956 | 4. <i>Les grands problèmes de la géographie humaine</i> . — Leverville-Kikwit (Congo belge), Bibliothèque de l'Etoile, 156 pp. |
| | 5. Léopoldville. Étude urbaine et sociale. — <i>Zaire</i> , 6 : 563-611. |
| | 6. Coquilhatville. Éléments pour une étude de géographie sociale. — <i>Aequatoria</i> , XIX (4): 137-151. |
| | 7. Note sur le degré de stabilisation des citadins de Léopoldville. — <i>Bulletin du Centre d'étude des Problèmes Sociaux Indigènes</i> , 33 . |

8. Elisabethville. Matériaux pour une étude de la population africaine. — *Bulletin Trimestriel du Centre d'Étude des Problèmes Sociaux Indigènes*, **34**: 137-195.
9. Jadotville. Matériaux pour une étude de la population africaine. — *Bulletin Trimestriel du Centre d'Étude des Problèmes Sociaux Indigènes*, **35**: 25-60.
10. Une colonie agricole européenne en Afrique tropicale: CELA. Angola portugais. — *Bulletin Agricole du Congo Belge*, **XLVII** (2): 387-424.
- 1958 11. Fort-Lamy. Croissance et destin d'une ville africaine. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **XXVII** (1): 35-54.
12. Le phénomène urbain en Afrique centrale. — Namur, FUNDP, coll. «Bibliothèque de la Faculté de Philosophie et Lettres de Namur», 22, 407 pp.
- 1960 13. Ngombe Ya Tumba, village Holo du Haut Kwango. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **XXIX** (1): 133-167.
- 1963 14. Evolution de la population en Belgique d'après le recensement de 1961. — *Hommes et Terres du Nord*, **2** (Travaux de l'Université de Bujumbura, n° 4).
- 1964 15. Géographie urbaine. — *In*: Les applications de la géographie en Belgique. Académie royale de Belgique, Comité national de Géographie, pp. 91-97.
16. Stadsgeografie. — *In*: Toepassingen van de geografie in België. Brussel, Koninklijke Academie van België, Nat. Com. voor Geografie, pp. 79-84.
17. Les Yaka du Kwango. Contribution à une étude ethno-démographique. — *Annales du Musée royal de l'Afrique centrale*, 1964, 107 pp. + pl.
- 1965 18. Addis Ababa. Genèse d'une capitale impériale. — *Revue Belge de Géographie*, **88** (3): 283-314 (Travaux de l'Université de Bujumbura, n° 8).
- 1966 19. Les villes d'Afrique tropicale. — *Civilisations*, **XVI** (1): 26-43.
- 1967 20. Structure et relief de l'Afrique moyenne. — *Revue de l'Université Officielle de Bujumbura*, **I** (3): 143-160.
- 1969 21. Présentation de l'ouvrage de G. Brasseur «Les établissements humains au Mali». — *Bulletin des séances Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, **XV** (3): 470-473.
22. Présentation de l'étude de C. Camara, «Saint-Louis-du-Sénégal». — *Bulletin des séances Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, **XV** (3): 474-477.
- 1970 23. (En coll. avec DEWEZ, N.) Guide de la recherche géographique en Belgique. — FNDP-Duculot, Bibliothèque de la Faculté de Philosophie et Lettres de Namur, 47, 296 pp.
- 1971 24. (En coll. avec VENNETIER, P. & WILMET, J.) L'Afrique Centrale et Orientale. — Paris, PUF, pp. 294.
25. Action universitaire dans l'acquisition et la transmission des connaissances. — *In*: L'Université dans son milieu: action et responsabilité (colloques de l'Aupelf, Tananarive), pp. 74-89.

- 1972 26. Géographie de l'Afrique centrale et orientale. — *Bulletin des séances Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, **XVIII** (2): 154-160.
- 1974 27. L'organisation de l'espace au Maroc d'après Hubert Beguin. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **XLIII** (2): 310-320.
- 1976 28. L'Afrique centrale en 1876. Etat des connaissances géographiques et cartographiques. — *In*: La Conférence de Géographie de 1876. Bruxelles. Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, *Recueils d'Études historiques*, pp. 33-56.
29. Les Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix. — Namur, ses richesses et sa beauté. Syndicat d'initiative de Namur, pp. 96-99.
- 1977 30. Dynamique de l'urbanisation au Japon. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **XLVI** (2): 289-351.
31. DENIS, J. *et al.* Evolution du nombre d'étudiants aux Facultés de Namur. — *FUN*, **19**: 23-26.
- 1978 32. World's Urbanization. — *Chiri Hax* (Séoul, 12.12.1978), pp. 54-57.
- 1979 33. Les paradoxes de Hong Kong. — *Bulletin des séances Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, **XXV** (2): 135-167.
- 1980 34. La géographie. — Florilège des Sciences en Belgique. — II. Bruxelles, Académie royale de Belgique, Classe des Sciences, pp. 229-540.
35. Hong Kong. — Paris, PUF, coll. «Que sais-je?», n° 1868, 128 pp. (2^e éd. en 1996).
36. Impact de l'industrialisation sur les régions rurales de Zambie. — *Annales de géographie*, n° 491, 1980: 115-116.
37. La 15^e assemblée générale de l'Union géographique internationale (Tokyo, 31 août-5 février 1980). — Académie royale de Belgique, *Bulletin de la Classe des Sciences*, 5^e sér., **LXVII** (1): 24-28.
38. Villes nouvelles et organisation de l'espace en Extrême-Orient. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **XLIX** (1): 105-142.
- 1981 39. (En coll. avec THOMAS, I.) Campagnes en mutation – Le pays de Gesves. — Namur, Presses Universitaires de Namur, 138 pp.
40. Panorama de la géographie internationale. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **L** (1): 35-39.
41. Die Verstadterung am Beispiel Ostesiens. — *Stimmen der Zeit*, **6** (199): 377-386.
- 1982 42. East Asian Urbanization in a Worldwide Context. — *Philippine Geographical [Society] Journal*, **XXVII** (1): 16-24.
43. Géographie du développement dans les pays du tiers monde. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **2**: 313-320.
44. Géographie humaine. — Cinquantenaire de l'Académie (1928-1978). — Bruxelles, Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, pp. 80-84.

- 1983 45. La bibliothèque universitaire Moretus Plantin. Premier bilan d'une expérience. — Namur, éd. BUMP.
46. Kamiel Bulcke sj. — *Bulletin des scéances Académie royale des Sciences d'Outre-Mer*, **XXIX** (1): 46-61.
- 1984 47. Geography in Belgium. — *In*: DENIS, J., GOOSSENS, M. & PISSART, A. (éds), Namur, Comité national de Géographie, 167 pp.
- 1985 48. Bilan mondial de la recherche géographique. — *Bulletin de la Société Belge d'Études Géographiques*, **1**: 9-28.
49. *Pour une nouvelle loi belge sur les archives*. — Bruxelles, Archives et bibliothèques de Belgique, vol. 3, pp. 21-28.
50. Les statuts de l'Union géographique internationale. — *Bulletin de l'UGI*, **XXXV** (2): 77-87.
- 1986 51. Marguerite Alice Lefèvre (1894-1967). — *Geographers Bibliographical Studies*, **10**: 105-110.
- 1987 52. Le phénomène urbain en Asie Orientale. — Paris, PUF.
53. L'ère de la conquête des espaces. — *Géo*, **95**: 76-79.
54. Omer Tulippe (1896-1968). — *Geographers Bibliographical Studies*, **11**: 165-172.
- 1989 55. Gaston Van Bulck. — Bruxelles, Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, *Biographie belge d'Outre-Mer*, **VIIC**, col. 55-59.
56. Michel Deckers. — Bruxelles, Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, *Biographie belge d'Outre-Mer*, **VIIC**, col. 115-117.
57. Joseph Guffens. — Bruxelles, Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, *Biographie belge d'Outre-Mer*, **VIIC**, col. 193-196.
- 1992 58. Géographie de la Belgique. — Crédit Communal de Belgique, 623 pp.
- 1993 59. Urbanisation in Australia: History and Challenges. — *In*: DIDDEE, J. & RANGASWAMI, E. (Eds.), *Urbanization: Trends, Perspectives and Challenges*. Jaipur-New Delhi, Rawar Publ., pp. 209-225.
- 2000 60. Walthère Derouau: «l'homo frater». — *Libre Cours*, **35**: p. 13.
- 2005 61. De l'aventure à la découverte. Carnets géographiques. — Namur, Bibliothèque universitaire Moretus Plantin, 183 pp.

Félix MALU WA KALENGA

(Boma, 22 septembre 1936 – Kinshasa, 22 avril 2011)*



Félix Malu wa Kalenga s'en est allé «rejoindre la terre de ses ancêtres». Que son âme repose en paix...

Il était membre correspondant de notre Académie depuis le 13 novembre 1979 (honoraire depuis 2001). Il s'est éclipcé discrètement en 2011, ne voulant déranger personne, ni dans son pays ni à l'étranger — la preuve, c'est que, seulement aujourd'hui, cinq ans après son décès, nous le commémorons officiellement. Notre Académie présente — avec retard certes mais avec beaucoup de sincérité — ses condoléances à la famille de l'illustre disparu ainsi qu'à la communauté scientifique qui l'a bien

connu. Le Professeur Malu ne voulait probablement pas, dans sa modestie, que l'on parle de lui du haut de cette tribune — pardonnez-moi si je le fais quand même.

La phrase suivante de l'écrivain-philosophe Gilbert Cesbron m'apparaît ici comme une évidence: «Le vivant ferme les yeux du mort et le mort ouvre les yeux du vivant» [1]**.

Aujourd'hui, en évoquant la mémoire de l'homme de science et de principes qu'était le Professeur Malu, j'espère — modestement — l'aider à «ouvrir les yeux des vivants» comme le suggère la citation ci-dessus.

Félix Malu wa Kalenga nous a quittés le 22 avril 2011 à Kinshasa, après avoir vécu septante-cinq ans: il a vu le jour le 22 septembre 1936 à Boma, province du Kongo Central, anciennement Bas-Congo. Son arrière-arrière-grand-père était un grand chef coutumier (un roi, dénommé Sapu) qui refusa de collaborer à la traite négrière avec les Arabes. Malu wa Kalenga a donc des origines royales selon les traditions africaines. Son père (Papa Malu) avait fait de bonnes études et était devenu administrateur (avant l'indépendance en 1960, fait très rare qu'un

* Éloge prononcé à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 26 mai 2016.

** Les chiffres entre crochets [] renvoient aux notes et références, pp. 136-137.

Congolais occupe un tel poste). Sa mère (Mama Félie) était une très bonne couturière: elle est connue pour avoir habillé les gens de la haute société.

Le rayonnement intellectuel et humain de Malu wa Kalenga était exceptionnel. Il a toujours été un battant assidu et rigoureux pour la bonne cause, un homme de principes, fidèle et dévoué à son entourage, à son laboratoire et à sa famille. Il a laissé une épouse courageuse (Mariette Thienza Kanieba) et cinq enfants d'une éducation irréprochable: trois filles (Mano, Odia et Raïssa) et deux garçons (Disanka et Félix). Ses enfants ont désormais un lourd héritage à porter — deux d'entre eux (Raïssa et Félix avec leurs conjoints respectifs) nous font l'honneur et le plaisir d'être présents aujourd'hui parmi nous.

Commençons par rappeler les mots prononcés par le ministre de la Recherche scientifique de l'époque, Monsieur Jean-Pierre Bokole wa Mpoka en avril 2011, à propos des mérites scientifiques du Professeur Malu: «le Congo tout entier est très affligé par cette disparition au moment où le pays a tellement besoin d'hommes de science pour le développement de la recherche scientifique».

Après de brillantes études primaires et secondaires (humanités scientifiques à la colonie scolaire de Boma, œuvre des frères des écoles chrétiennes fondée en 1905), Félix Malu devient ingénieur civil électricien et électronicien de l'Université Lovanium (aujourd'hui Faculté polytechnique d'Unikin) en 1962 et *Master of Science* à la prestigieuse *University of California* (Berkeley, USA) en 1963.

En 1969, il devient docteur en sciences appliquées (Groupe Mathématiques appliquées) à l'Université catholique de Louvain avec la plus grande distinction.

Professionnellement, il couvre nombre de domaines des sciences pures et appliquées:

- Étude mathématique des phénomènes non linéaires et stochastiques, principalement dans les circuits électroniques;
- Génie atomique;
- Étude socio-économique de l'énergie en Afrique (y compris les renouvelables);
- Analyse des politiques de recherche et développement dans les pays émergents.

Sa riche carrière universitaire lui vaut d'exercer les fonctions suivantes dans les domaines académique et scientifique:

- Domaine académique:
 - 1963-1969: professeur à l'Université Lovanium;
 - 1969-2000: professeur ordinaire;
 - 1970-1978: doyen de la faculté polytechnique de l'Université de Kinshasa;
 - Depuis 2000: professeur émérite.

— Domaine scientifique:

- Commissaire au Commissariat général à l'Énergie atomique (CGEA) en RDC de 1965 à 2000 (Décret-Loi n° 232 du 5 juillet 1965);
- Directeur général du «Centre régional d'Études nucléaires de Kinshasa» (CREN/K) de 1965 à 2000 (Décret-Loi n° 232 du 5 juillet 1965);
- Membre du Conseil scientifique de l'OUA;
- Directeur du Service présidentiel d'Études (SPE);
- Membre du Conseil scientifique consultatif de l'Agence de Physique théorique de Trieste, Italie;
- Membre du Conseil scientifique consultatif de l'Agence internationale de l'Énergie atomique (AIEA), Vienne;
- Président du Conseil scientifique national;
- Membre de l'Académie pontificale des Sciences du Vatican pour la Physique appliquée depuis 1983 (<http://www.casinapioiv.va/content/accademia/en.html>);
- Membre fondateur de la *World Academy of Sciences (TWAS) for the Advancement of Science in Developing Countries* (Trieste, 1983 – <http://twas.org>).

Il a également reçu de nombreuses distinctions honorifiques parmi lesquelles:

- Médaille d'Or du Mérite des Sciences et Lettres (RDC);
- Prix international «Mercure d'Or» (Italie);
- Chevalier de l'Ordre de la Francophonie et du Dialogue des Cultures «La Pléiade» (France);
- Officier de l'Ordre national du Léopard (RDC);
- Médailles d'Argent du Mérite civique (RDC);
- Prix *Energy for Mankind Award 1987* décerné par la *Global Energy Society for Eradication of Poverty and Hunger* (Akron, Ohio, USA) le 9 juin 1988.

Une biographie professionnelle du Professeur Malu wa Kalenga, même résumée, se doit d'évoquer son maître et prédécesseur à Kinshasa: Monseigneur Luc Gillon, bâtisseur et premier recteur de l'Université Lovanium (en fonction de 1954 à 1967), et ancien membre de notre Académie, dont l'éloge funèbre prononcé le 26 février 1999 contient un passage particulièrement éclairant pour nous aujourd'hui:

A Genève en 1958, Luc Gillon découvre un réacteur de recherche étonnant, le Triga Mark I: solidité, sécurité, efficacité. L'idéal pour développer au Congo la production d'isotopes. Coup de foudre. [...] Le premier réacteur nucléaire fonctionnant en Afrique est donc dû à Luc Gillon. [...] Grâce à lui, dès 1961, la République Démocratique du Congo devenait membre de l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) de Vienne. En outre, Luc Gillon avait formé un ingénieur de Lovanium, Félix Malu wa Kalenga, qui lui succède et est membre correspondant de notre Académie. [...] [2].

Rappelons que Malu wa Kalenga commence en 1963 sa carrière de professeur en sciences nucléaires et ses recherches sur le réacteur Triga Mark I [3] à l'Université Lovanium à Kinshasa.

On se rappelle aussi que l'AIEA organise en 1958 à Genève la première «Conférence internationale de l'Énergie atomique» (censée se répéter tous les quatre ans), suite à l'appel historique *Atoms for Peace* du Président américain Dwight D. Eisenhower en décembre 1953 à la tribune des Nations Unies.

Retour vingt ans en arrière: le Congo joue un rôle essentiel dans la victoire des Alliés à la fin de la Seconde Guerre mondiale. En effet, à l'époque, Shinkolobwe (située à 130 km à l'est de la ville de Kolwezi au Katanga), qui se trouve être la mine la plus riche en uranium du monde (minerai à 65 % d'oxyde d'uranium), est au centre d'un contrat historique entre l'Union minière du Haut-Katanga (groupe industriel minier belge, 1908-1997) et le Projet Manhattan (dirigé aux États-Unis par le général Richard Groves et le Dr Robert Oppenheimer; durée du projet: 1942-1946).

Dans ce contexte, le «Gouvernement général» du Congo belge achète, avec l'accord du ministre du Congo et du Ruanda-Urundi, à la *General Dynamics Corporation* (*General Atomics*, San Diego, Californie, USA), le réacteur de recherche de type Triga Mark I mentionné ci-dessus. Ce réacteur, d'une puissance de 10 à 50 kW, est destiné à la «Commission des Sciences nucléaires», présidée par Monseigneur Luc Gillon, recteur de l'Université Lovanium à Léopoldville. Ce réacteur devient l'outil principal du centre nucléaire, alors dénommé centre TRICO (= *Triga-Congo*), construit sur le site de l'Université Lovanium, qui comptait déjà les laboratoires de la faculté des sciences, de la faculté de médecine et l'hôpital universitaire. Sa première divergence a lieu le 16 juin 1959 [4].

De sa création en juin 1959 à son démantèlement en 1970, le réacteur TRICO a été utilisé pour la recherche scientifique (physique des neutrons, état solide, ...), pour l'enseignement et pour la production d'isotopes à usage médical, industriel et agronomique [5]. Les principaux bénéficiaires scientifiques du réacteur TRICO furent:

- Les deux universités de l'époque: celle de Lovanium fondée en 1954 (par l'Université catholique de Louvain) à Léopoldville qui deviendra l'Université de Kinshasa et celle d'Élisabethville (aujourd'hui Lubumbashi), université d'État créée en 1955;
- L'INEAC (Institut national pour l'Étude agronomique du Congo belge), 1933-1962;
- L'IRSAC (Institut pour la Recherche scientifique en Afrique centrale), 1947-1964.

Après la période «Luc Gillon» (1954-1967), la suite de l'histoire du réacteur Triga de Kinshasa jusqu'en 2000 — en particulier, sa modernisation en Triga Mark II — est écrite par Malu wa Kalenga et ses divers collaborateurs. En 1974, deux ans après sa première criticité (le 23 mars 1972), le réacteur effectue son premier fonctionnement à près de 1 000 MW en régime pulsé et son premier fonctionnement à 1 MW en régime stable. Ces événements ont fait l'objet d'inaugurations officielles honorées par la présence du Président de la République et de nombreuses personnalités (respectivement le 30 mars 1972 et le 21 novembre 1974).

Citons encore Luc Gillon en 1988 à propos (1) du Professeur Malu, (2) du réacteur Triga Mark II:

A la Commission des Sciences Nucléaires du Congo, j'eus la satisfaction de pouvoir passer progressivement la main à un jeune Congolais, Félix Malu, hautement diplômé. [...] Ce transfert de compétence représentait pour moi la concrétisation d'un des idéaux de toute assistance technique: former un successeur compétent, capable de prendre la relève et, au moment voulu, lui céder la place.

Trop peu employé, Triga II conserve néanmoins toute sa valeur. Que de chercheurs belges seraient heureux de pouvoir l'utiliser s'il se trouvait en Belgique! Mais aujourd'hui, au cœur de l'Afrique, il se présente un peu comme «la belle au bois dormant» qui attend un prince charmant (... et riche autant que possible) pour lui redonner pulsations, activités et vigueur [6].

Par conséquent, on peut dire que la République Démocratique du Congo possède une longue tradition nucléaire qui a commencé en 1959 avec le réacteur TRICO (sous le Professeur Luc Gillon) et s'est ensuite développée en centre de recherche africain CREN-K à partir de 1969 (sous le Professeur Félix Malu), année du sommet de l'Organisation de l'Unité africaine (OUA) à Kinshasa. Le but de l'OUA était en réalité de faire du CREN-K un centre d'excellence pour créer d'autres installations de recherche nucléaire et ainsi fournir des radio-isotopes à tous les membres de l'OUA.

Durant vingt-cinq ans (répartis sur la période 1959-1987), de nombreux essais ont été effectués (Triga I de 1959 à 1970 et Triga II de 1972 à 1987). Durant la période 1974-1982, par exemple, nonante-huit pulsations ont été effectuées, avec des réactivités de +1 \$ à +2,5 \$ (rappel: lors d'une réactivité de +1 \$, un réacteur est prompt-critique, en général, réputé incontrôlable et mis à l'arrêt automatiquement). Environ mille cinq cents spécimens ont été irradiés. Malgré quelques problèmes techniques inévitables dans le pilotage de réacteurs de recherche, aucun incident majeur n'est à déplorer (*cf.* <http://usabuzz.net/page/video/triga-mark-ii-nuclear-research-reactor--pulse-mode>).

Il faut encore rappeler que, dès les prémices du projet TRICO (1956), les autorités belges sont étroitement associées à l'installation, au fonctionnement et à la maintenance de ce réacteur. À l'approche de l'indépendance, le gouverne-

ment belge décide de renforcer le cadre de la recherche nucléaire au Congo. Le 10 juin 1960, le roi Baudouin signe un arrêté portant sur la création du «Commissariat des Sciences nucléaires» (CSN) destiné, en particulier, à promouvoir la recherche nucléaire dans le but d'appliquer les résultats au développement du Congo.

Après l'indépendance (30 juin 1960), une convention générale de coopération technique et scientifique est conclue en 1968 entre la Belgique et la République Démocratique du Congo. Un arrangement particulier de coopération technique est régulièrement reconduit de 1973 à 1987, année au cours de laquelle le gouvernement belge décide que le projet devrait être en mesure de se poursuivre sans aide extérieure. Ce cadre juridique a permis au CEN-SCK de Mol d'apporter une contribution importante aux travaux nécessaires à la mise en activité du successeur de TRICO (à savoir Triga Mark II, réacteur de recherche de type piscine à eau légère) ainsi qu'aux entretiens annuels de cette nouvelle installation. L'«Institut des radioéléments» (IRE) de Fleurus apporte, quant à lui, son appui au CREN-K dans le domaine de la production de radioéléments à usage médical.

L'AIEA a initié, en 1988, un projet de coopération technique portant sur la fourniture d'équipement et d'éléments de combustible de rechange (composés en partie d'uranium enrichi à 20 %), commandés auprès de la firme américaine *General Dynamics Corporation* (fournisseur du réacteur Triga). Ce projet n'a pas abouti en raison de l'embargo décrété par les États-Unis contre le régime de Mobutu (président de l'ex-Zaïre de 1965 jusqu'à sa mort en 1997). Le gouvernement zaïrois a cessé de financer le réacteur en 1992 suite au maintien de la décision américaine (autorité de sûreté US-NRC) d'interdire toute expédition de pièces de rechange nucléaires, citant l'«effondrement économique et politique au Zaïre».

Ayant fréquenté de près «le Commissaire» Malu lors des travaux de coopération au réacteur Triga Mark II, M. Léon Leenders, surnommé par ses collègues africains *mundele-ndombe* (en lingala populaire «le noir qui ressemble à un blanc»), ingénieur en génie atomique, expert en physique des réacteurs, expert AGCD/ABOS & AIEA au CREN-K (1971-1988), aujourd'hui retraité du CEN-SCK (Mol), nous fait de «l'homme» Félix Malu le portrait suivant:

Le Professeur Malu ne manquait jamais l'occasion de marquer sa sympathie envers ses divers collaborateurs. Ce fut notamment le cas à la fin du Programme de mise en pulsation du réacteur Triga Mark II: l'équipe belgo-zaïroise termina son travail autour d'une table garnie de canards à l'orange et d'un breuvage de l'amitié. En 1974, une fête officielle fut également organisée dans le cadre du 10^e anniversaire de la prise du pouvoir par feu le Président de la République de l'ex-Zaïre Joseph-Désiré Mobutu Sese Seko. A la suite d'un discours de circonstance, dont le Professeur Malu avait aussi le secret, le Président Mobutu (portant sa toque en peau de léopard) fut invité [...] à inaugurer le réacteur Triga II en produisant lui-même une impulsion de plus de 600 MW (prudence oblige) durant quelques millisecondes. Le résultat visible était un flash

de lumière bleue en raison de l'effet Tcherenkov, phénomène physique bien connu et dû au ralentissement des rayons gamma dans l'eau de la piscine du réacteur. Grâce à la télévision, présente sur le site, ce flash a été répété sur tous les écrans du pays et bien au-delà!

Chercheur de classe exceptionnelle dans le domaine du génie atomique, Malu wa Kalenga a dirigé la construction du réacteur Triga Mark II du CREN-K. Il s'intéressait à l'étude des réacteurs pulsés et des effets de bruit associés. Il a montré en particulier comment les neutrons retardés et les effets d'inertie en température pouvaient être pris en compte, sous une forme analytique compacte, dans le calcul de la réactivité en mode pulsé.

Je ne résiste pas au plaisir de citer ce qu'une publication officielle de l'Académie pontificale des Sciences appelle l'équation préférée du Professeur Malu, à savoir l'équation interactive des particules atomiques dite également «Potentiel de Yukawa» (= potentiel électrostatique créé en tout point situé à la distance r de O par une distribution de charges électriques sous l'hypothèse de symétrie sphérique):

$$V(r) = \frac{g_{\pi}^2 (m_{\pi} c^2)^3}{3(Mc^2)^2 \hbar^2} \left[s_1 s_2 + S_{12} 1 + \frac{3R}{r} + \frac{3R^2}{r^2} \right] \frac{e^{-\frac{r}{R}}}{R}$$

Les charges de ses nombreuses fonctions n'ont pas empêché Malu wa Kalenga de faire de nombreuses publications (plus de cent vingt au total) de très grande qualité dans des domaines aussi variés que:

- L'électronique et la physique des réacteurs («Étude et réalisation d'un générateur de bruit à basse fréquence utilisant une source radioactive au cobalt», in conférence *Utilisation de l'Énergie Atomique à des fins pacifiques en Afrique* (Vienne, 1970), IAEA, pp. 455-456; «Modification de la conception originale de la cuve du réacteur Triga Mark II du CREN-K», in *General Atomic Press, TOC-8*: 2-24 – 2-48, 1976; «Inertial effect on the C.R.E.N.-K. Triga reactor on pulsed mode», in *Revue Zaïroise des Sciences Nucléaires*, **I** (1): 1-14, 1980);
- Les systèmes énergétiques en Afrique centrale (*Le système énergétique de la République Démocratique du Congo*, Kinshasa, Office national de la Recherche et du Développement (O.N.R.D.), 1970; «Les perspectives de l'énergie nucléo-électrique en Afrique Centrale. L'énergie nucléaire et son cycle de combustible», in *AIEA*, **6**: 127-140, 1978);
- L'étude socio-économique de l'énergie dans les pays émergents (*Les solutions possibles du problème du déficit énergétique de la région du Shaba en République du Zaïre*, Kinshasa, Office national de la Recherche et du Développement (O.N.R.D.), 1972; «Les méthodes de prévision de la consommation d'énergie électrique», in *Presses Universitaires du Zaïre*, **141**, 1976; «Hydrogen as a feed-stock in chemical and petrochemical: The case of

- Zaire», in VEZIROGLU *et al.* (Eds.), *Hydrogen Energy Progress*. Pergamon Press, 1980, pp. 1265-1272; «Incidence énergétique du phénomène de l'exode rural et de l'explosion démographique en Afrique au sud du Sahara», in *Presses Universitaires du Zaïre* (dossier méthodologique), 1983, p. 185; «Nuclear power and the demand problem in least developed countries (LDCs)», in *Revue Zaïroise des Sciences Nucléaires*, **IV**: 1-18, 1984);
- Les relations entre science, technologie et société («La mutation scientifique et technique de la société: le cas de la République du Zaïre», in *Cahiers Zaïrois de la Recherche et du Développement*, **XV**, 1973; «Commentaires sur le processus de développement par la science en Afrique, ses conditions et ses contraintes», paper presented at Piscataway, African Studies Association (A.S.A.), 1973; «Recherches nucléaires et développement du Zaïre: 25 ans d'activités», Presses du Commissariat général à l'Énergie atomique, 1986; «Some epistemological consequences of Bohr's quantum work», Presses du Commissariat général à l'Énergie atomique, 1986, pp 203-226; *Science et technologie en Afrique (histoire, leçons et perspective)*, Bruxelles, Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, Classe des Sciences techniques, Mémoire, N.S., **18** (6), 266 pp., 1992; «Atouts et contraintes de la science et de la technologie en Afrique», in Assises francophones de la Recherche, Abidjan, 1-2 décembre 1993).

L'œuvre principale de la vie du Professeur Malu est la promotion et l'utilisation de l'énergie atomique en Afrique, et au Zaïre en particulier, qui a abouti à la création, sous les auspices de l'OUA, du «Centre régional d'Études nucléaires de Kinshasa» (CREN-K) dont il assure la direction de 1965 à 2000.

L'importance de l'énergie dans le processus de développement des pays du Tiers-Monde l'a également conduit à s'intéresser à l'étude comparative des systèmes énergétiques et singulièrement des systèmes d'énergie renouvelable en Afrique. Ses travaux et publications dans ce secteur ont été déterminants dans l'éclosion de cette forme d'énergie au Zaïre. Ses recherches ont également porté sur des problèmes liés à l'appréciation de la demande d'énergie.

Les problèmes posés par les interactions «science, technologie et société», rencontrés dans le domaine des systèmes énergétiques (que ce soit en thermodynamique des machines ou en physique des particules), l'amènent à s'intéresser de plus près à la science de la complexité et aux conséquences épistémologiques du paradigme de la physique quantique dans des sciences telles que la biologie, l'écologie, la socio-économie et la culture.

Malu wa Kalenga était en effet fasciné par la mécanique quantique et, en particulier, par un de ses fondateurs, Niels Bohr (initiateur de l'École de Copenhague), qui a contribué au débat philosophique pour une nouvelle conception d'ensemble du monde. La manière dont Bohr réfléchissait aux phénomènes atomiques depuis 1912 a toujours été quelque chose d'intermédiaire entre la physique et la philosophie. Les problèmes qui préoccupaient les physiciens quantiques étaient ceux de la réalité et de l'observation, de la possibilité d'apparition

et de disparition de matière, de l'impossibilité de suivre une particule comme un objet individuel (principe d'incertitude de Werner Heisenberg), etc. La grande nouveauté de la mécanique quantique, c'est de donner à voir des «objets» radicalement «contextuels»: l'«objet» quantique ne préexiste pas à proprement parler à son observation! Ainsi des microparticules comme les photons peuvent présenter dans certains types d'expérience un comportement corpusculaire, mais dans d'autres un comportement ondulatoire.

Malu wa Kalenga était convaincu qu'une nouvelle conception du monde s'imposait, une conception de type holistique, loin de la pensée mécaniste classique. La formulation newtonienne de la cause et de l'effet n'était plus satisfaisante, ni en physique des particules ni dans les autres sciences. Le modèle cartésien de la réalité est étriqué et n'apporte pas de réponses suffisantes pour expliquer tout ce qui émerge dans le monde. Le Professeur Malu partage l'idée qu'il existe deux niveaux de réalité: un premier qui s'expose dans les phénomènes (c'est le monde manifeste de l'expérience) et un autre sous-jacent (monde proche de la physique quantique). Une «science quantique intégrale» est en train de se développer: ce sera une théorie unifiée transdisciplinaire qui fournira les éléments essentiels d'un paradigme qui enracinera la science dans le vingt et unième siècle. Cela permettra d'expliquer, en particulier, certains phénomènes très complexes en biologie et même en sciences humaines, sociales ou mentales.

Sur le plan politique, Malu wa Kalenga a été de tous les combats pour contribuer à une meilleure gouvernance de la République Démocratique du Congo. Il a beaucoup travaillé non seulement pour la communauté scientifique au sens large mais également pour son pays, au-dedans et au-dehors.

Je voudrais insister sur le fait que, loin du débat politicien, Malu wa Kalenga a inspiré le respect de la part de la nation entière. Ainsi l'opinion publique garde encore le souvenir de son passage à la tribune de la Conférence nationale souveraine (CNS) le 17 mai 1992.

Rappelons que cette conférence s'ouvre le 7 août 1991 au Palais du Peuple à Kinshasa dans un contexte de fin de guerre froide et de contestation populaire croissante (Mgr Laurent Monsengwo Pasinya, archevêque de Kisangani, était le président du Bureau de la Conférence nationale souveraine, qui achèvera ses travaux le 6 décembre 1992 après avoir désigné un Haut Conseil de la République (HCR) aux fonctions législatives et de contrôle). La mission de cette conférence, voulue à l'origine par le président Mobutu, était de contribuer à la recherche de solutions susceptibles d'améliorer le fonctionnement des institutions nationales après trente et une années d'indépendance.

Voici quelques réflexions de Malu wa Kalenga, particulièrement importantes (à l'époque en 1992 et encore aujourd'hui!), où il donne les clés pour réussir une politique de recherche et d'innovation dans un pays émergent:

La richesse des nations modernes se mesure principalement par leur capacité d'innovation en sciences et en technologie, en somme par la qualité de la matière grise

qu'elles sont à même de mobiliser (et non uniquement par la richesse minérale de leur sol et sous-sol!) [...] La ressource renouvelable de base de l'humanité est encore l'intelligence créatrice de l'homme lui-même [...] La prospérité économique se joue sur la maîtrise la plus assurée possible d'un ensemble de techniques de pointe qui révolutionnent la production industrielle.

Ceux qui ont eu le privilège de l'approcher de près peuvent porter témoignage de tout ce qu'il unissait en sa personne de science, de culture, de sensibilité, de bienveillance, de loyauté et de modestie.

On retiendra son intelligence, son courage, sa détermination, sa passion pour réussir ses nombreux chantiers, son engagement et surtout sa conviction qu'il faut transmettre le savoir! Travailleur infatigable, il suivait avec sollicitude les efforts de tous, en particulier des jeunes. Il voulait que la jeunesse perçoive le bien-fondé de rester longtemps à l'école et de se diriger vers des métiers intellectuels. Il était convaincu qu'une nation ne peut pas se développer et se construire sans cadres universitaires et sans recherche!

Malu wa Kalenga n'a jamais cherché le pouvoir, la richesse et les honneurs auxquels il aurait pu prétendre. Il n'a jamais donné à son entourage l'impression d'être un proche du président Mobutu. Homme attachant, il a pu être pour beaucoup de compatriotes un grand frère mais aussi un ami et un confident. Qu'il soit à jamais remercié. Il était également très attaché à sa foi chrétienne: Dieu a toujours été une référence essentielle pour lui et il le montrait clairement.

S'il fallait écrire une épitaphe sur sa tombe, j'écritais simplement (en accord avec sa famille): «Il restera de toi ce que tu as donné» [7].

Georges VAN GOETHEM

NOTES ET RÉFÉRENCES

- [1] «La mort ferme les yeux des morts et ouvre ceux des survivants», Gilbert Cesbron (1913-1979), écrivain français d'inspiration catholique (*source*: <http://www.la-croix.com/Archives/2014-03-11/SPIRITUALITE.-La-mort-ferme-les-yeux-des-morts-et-ouvre-ceux-des-survivants.-2014-03-11-1118985>).
- [2] Luc Gillon (1920-1998), éloge prononcé par MM. Jacques De Cuyper, Fernand Bézy et André Jaumotte à la séance de la Classe des Sciences techniques tenue le 26 février 1999 (*Bull Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer*, **45** (1-1999): 97-105).
- [3] TRIGA = *T*raining, *R*esearch, *I*sotopes, *G*eneral *A*tomics.
- [4] Sénat belge – session de 1997-1998 (Bulletin 1-78): questions posées par les sénateurs et réponses données par les ministres (Ministre des Affaires étrangères), question n° 1134/1 de M. Staes du 12 juin 1998 à propos de «Réacteur nucléaire à Kinshasa» (<https://www.senate.be/www/?Mlval=publications/b&COLL=B&PUID=16780447&TID=16785929&POS=1&LANG=fr>).
- [5] *Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, Switzerland, 11-13 September 1958* (<http://www-naweb.iaea.org/napc/physics/2ndgenconf/data/Proceedings%201958/NG900090.pdf>). Aujourd'hui,

l'Afrique compte une dizaine de réacteurs nucléaires, destinés non à la production, mais à la recherche et à la formation. Ils se trouvent en Afrique du Sud (près de Prétoria), en Algérie (Aïn Oussera, à 200 km d'Alger, et Draria, dans la banlieue de la capitale), en Égypte (deux à Inshas, près du Caire), en Libye (Tajoura, près de Tripoli), au Maroc (Maamora, près de Rabat), en Tunisie (Tunis), au Ghana (Accra) et au Nigeria (Zaria, dans le Nord) (*source*: IAEA «Research Reactors in Africa», November 2011 – https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/Technical-Areas/RRS/documents/RR_in_Africa.pdf).

- [6] *Servir: en actes et en vérité*, Monseigneur Luc Gillon (préface de Jean Kestergat), Gembloux, éd. Duculot, 1988, 319 pp. (chapitre «Bain de jouvence pour Trigat», pp. 225-226).
- [7] Simone Weil, philosophe, historienne et mystique française (1909-1943) – https://fr.wikipedia.org/wiki/Simone_Weil