Déformation d'une bulle par un écoulement turbulent

A. Rivière[1,2], W. Mostert[1], L.Deike[1,3], S. Perrard[1,2]
1. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Princeton University
2. LPENS, PSL Université 3. Princeton Environmental Institute, Princeton University

1

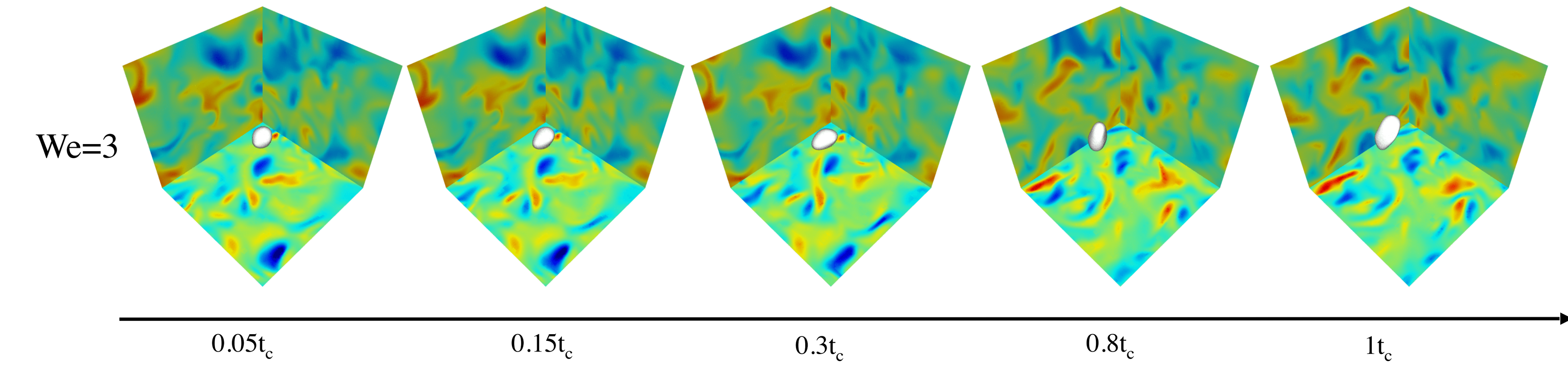
40% des échanges de CO_2 océan/atmosphère sont induits par le déferlement des vagues !

Adapté de Véron 2015

<u>Peut-on relier la statistique de l'écoulement turbulent et la statistique de déformation et de temps de vie d'une bulle ?</u>

2

Problème simplifié : simulation numérique directe d'une bulle unique en turbulence



$$t_c = \frac{d_0^{2/3}}{\epsilon^{1/3}}$$

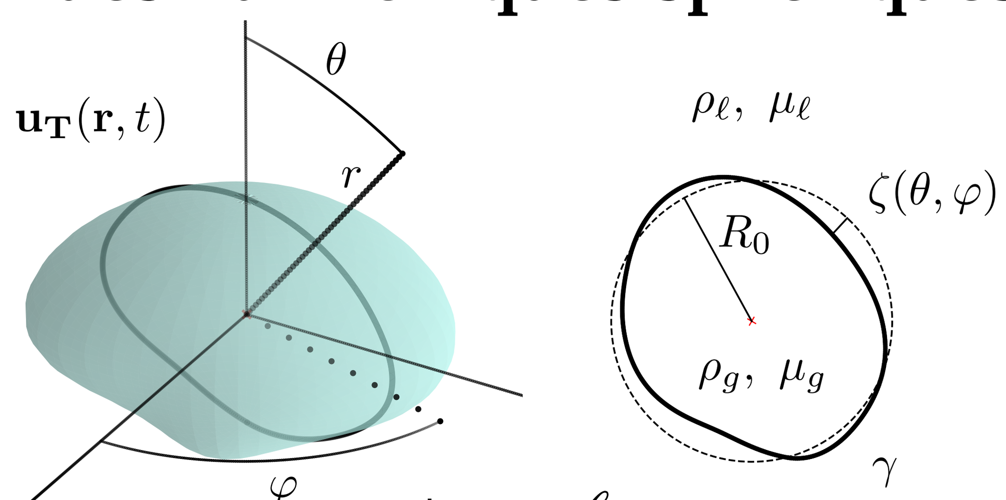
I. Turbulence statistiquement **stationnaire homogène** et **isotrope** de taux de dissipation ϵ, par forçage du milieu avec: $f(\mathbf{x}, t) = A\,\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$ (*Méneveau 2005*)

II. Injection d'une bulle de taille d_0 à **différents instants (CI)** de la turbulence

III. Etude de la déformation en fonction du nombre de Weber $W_e = \rho_w u(d_0)^2 d_0/\sigma$ (inertie/tension de surface), à Reynolds (inertie/diffusion) constant $R_{e_\lambda} = 37$

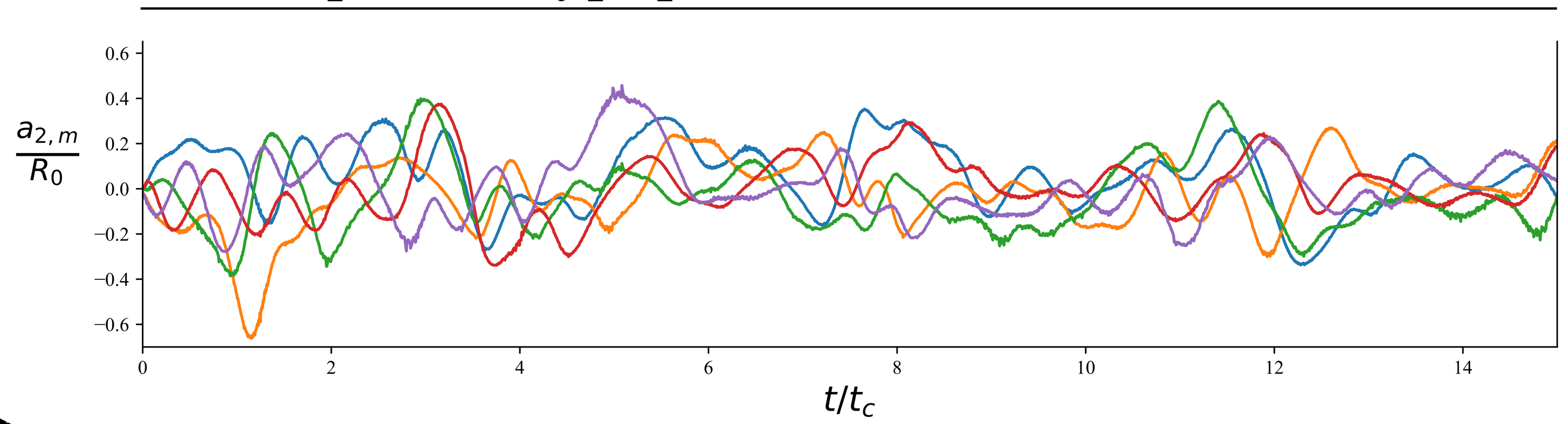
3

Décomposition du rayon $R(\theta, \phi, t)$ dans la base des harmoniques sphériques Y_ℓ^m



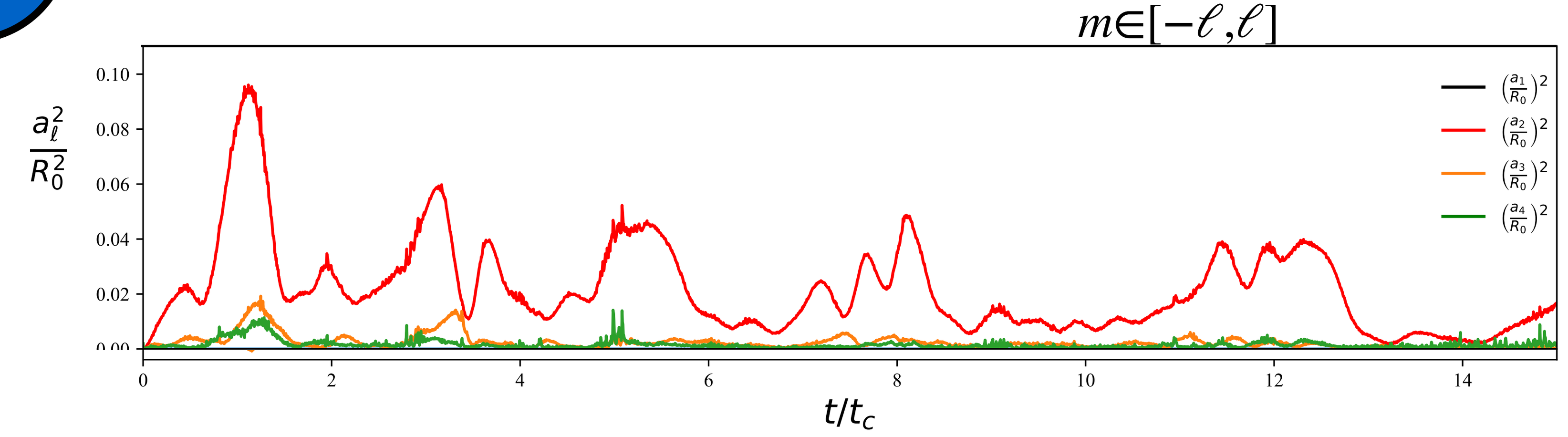
$$R(\theta, \phi, t) = R_0 + \sum_{\ell=2}^{+\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} a_{\ell,m}(t) Y_\ell^m(\theta, \phi)$$

<u>Evolution temporelle typique des coefficients</u> ($We = 1, \ell = 2$) :



4

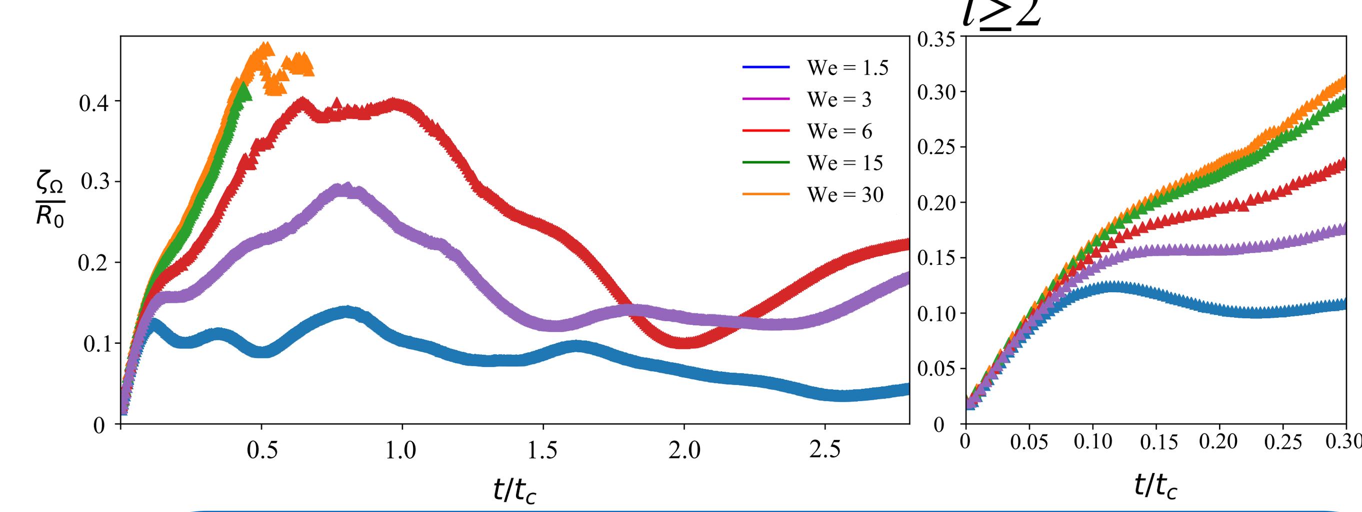
<u>Energie des modes ℓ :</u> $a_\ell^2 = \sum_{m \in [-\ell, \ell]} a_{\ell m}^2(t)$



La bulle se déforme principalement selon les modes $\ell = 2$ (formes ellipsoïdales)

5

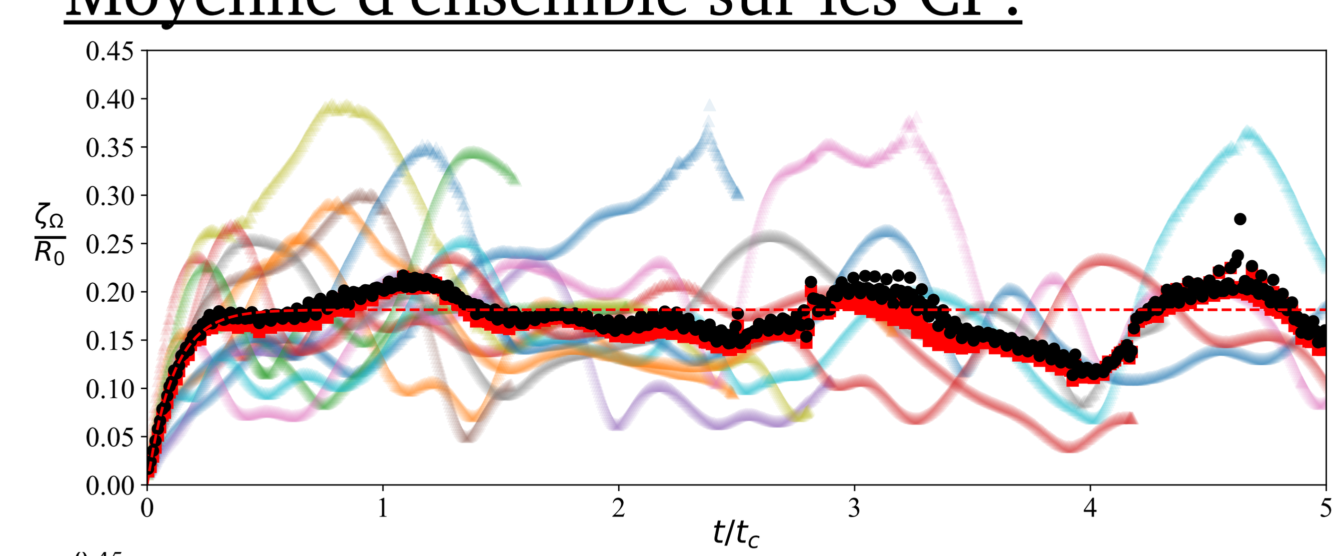
Déformation totale $\zeta_\Omega = \sum_{l \geq 2} a_\ell(t)^2$



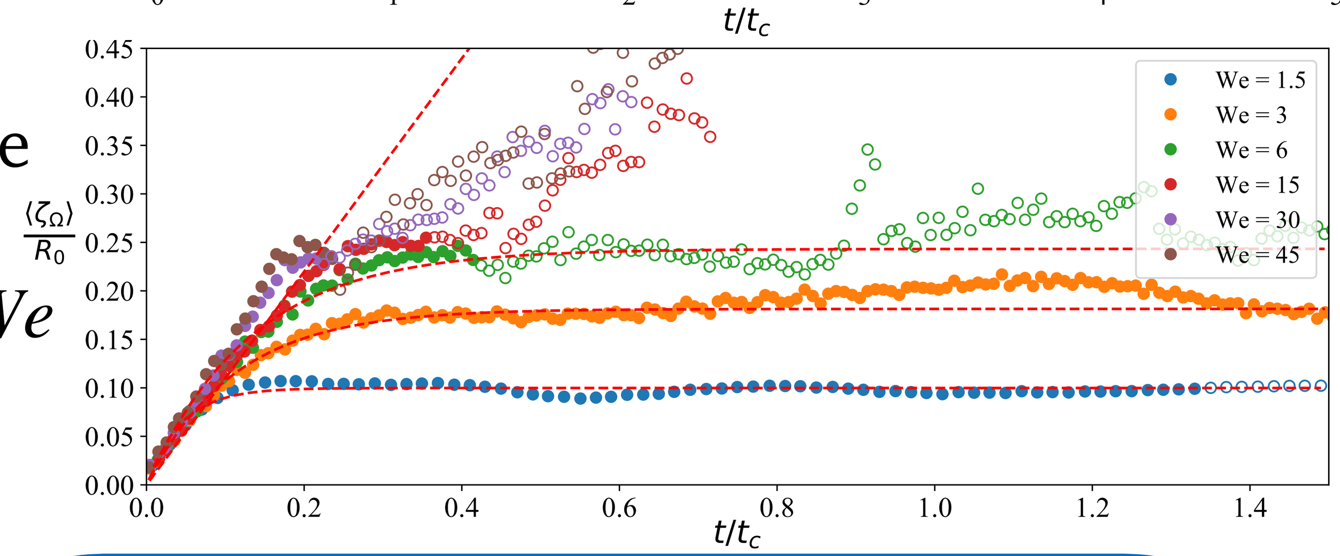
A <u>CI fixées</u> et $t \ll t_c$, croissance de ζ_Ω **linéaire et indépendante** du We

<u>Moyenne d'ensemble sur les CI :</u>

Exemple : $We = 1$



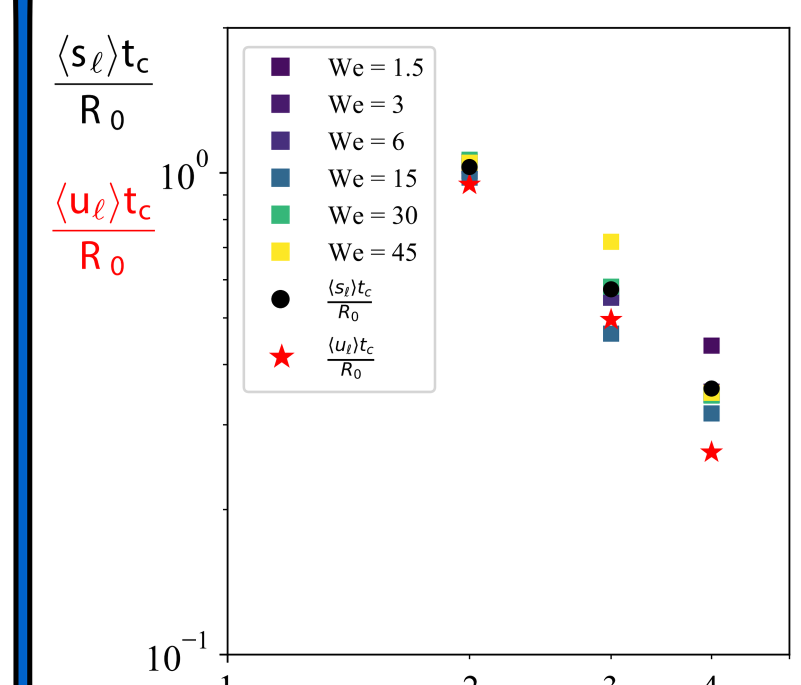
Moyenne pour chaque We



Après <u>moyenne sur les CI</u>, pour $t \ll t_c$, croissance de $\langle \zeta_\Omega \rangle$ **linéaire** et **indépendante** du We

6

Lien avec les statistiques de l'écoulement



Pente initiale s_ℓ du mode ℓ
=
Coefficient moyen $\langle u_\ell \rangle$ de la **vitesse** à l'échelle d_0

<u>Quand $We \xrightarrow{\ell} +\infty$</u>, $\langle \zeta \rangle \approx \langle s_2 \rangle\, t_c$, $\forall t$ avant la cassure. On fixe $\zeta_c = 0.37 d_0$, la déformation critique qui induit une cassure.

<u>On prédit alors pour $We \to \infty$:</u>
Distribution des temps de vie T/t_c
= Distribution de $\zeta_c / \left(\langle s_2 \rangle t_c\right)$
= Distribution de $\zeta_c / \left(\langle u_2 \rangle t_c\right)$

Vérification :

	Simulations We = 30	Simulations We = 45	Prédictions $Re_\lambda = 38$
# of elements	20 (7)	20 (7)	
T/t_c	0.90	0.88	$\langle \zeta_c \rangle / (\langle u_2 \rangle t_c) = 0.91$
T_{rms}/t_c	0.45	0.40	$\langle \zeta_c \rangle / (u_2' t_c) = 0.41$
$\langle \zeta_c \rangle / R_0$	0.85	0.69	$\langle \zeta_c \rangle / R_0 = 0.74$

Très bon accord !