Establishing common standards for the EFT interpretation of top-quark measurements at the LHC

Gauthier Durieux
(DESY)

J. A. Aguilar Saavedra, C. Degrande, G. D.,
F. Maltoni, E. Vryonidou, C. Zhang (editors),

D. Barducci, I. Brivio, V. Cirigliano, W. Dekens, J. de Vries, C. Englert, M. Fabbrichesi,
R. Franceschini, C. Grojean, U. Haisch, Y. Jiang, J. Kamenik, M. Mangano,
D. Marzocca, Y. Kats, E. Mereghetti, K. Mimasu, L. Moore, G. Perez, T. Plehn, F. Riva,
M. Russell, J. Santiago, M. Schulze, Y. Soreq, A. Tonero, M. Trott, S. Westhoff,
C. White, A. Wulzer, J. Zupan.

with much support and feedback from
EFT enthusiasts in ATLAS and CMS,
and LHC TOP WG conveners

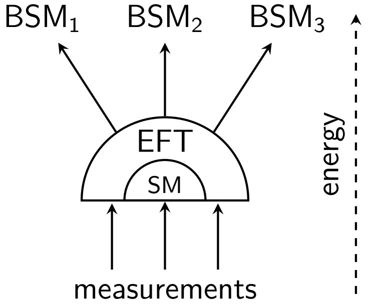
LHC Physics Discussion
Hamburg, 12 February 2018

The standard model effective field theory

systematically parametrizes the theory space
in direct vicinity of the SM

- through a proper QFT
- based on SM fields and symmetries
- in a low-energy limit
- systematic when global

(...) if one writes down the most general possible Lagrangian, including all *terms consistent with assumed symmetry principles, (...) the result will simply be the most general possible S-matrix consistent with analyticity, perturbative unitarity, cluster decomposition and the assumed symmetry.* [Weinberg '79]



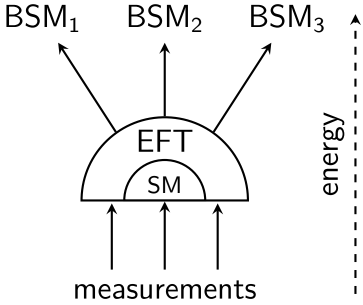
The standard model effective field theory

systematically parametrizes the theory space
in direct vicinity of the SM

- through a proper QFT
- based on SM fields and symmetries
- in a low-energy limit
- systematic when gl

Identify new physics through correlated deviations
in precisely measured observables.

(...) most general possi... including all terms consis... with assumed symmetry principles, (...) the result will simply be the most general possible S-matrix consistent with analyticity, perturbative unitarity, cluster decomposition and the assumed symmetry. [Weinberg '79]



Common framework for top physics at the LHC

First steps

Delimit an initial scope

- address only processes involving top quarks
- decide which contributions are relevant, in principle
- prioritize the study of flavour structures

Fix notation

- define d.o.f. natural for top physics at the LHC
- fix notation, normalization, and indicative allowed ranges
- provide simulation tools as TH/EXP interface

Discuss analysis strategies (one example)

- address the challenges of a global EFT
- highlight useful experimental outputs

Delimit an initial scope

Relevant operators

Use the *Warsaw* basis of dim-6 operators as reference [Grzadkowski et al '10]
Focus on operators involving a top quark

Four-quark operators (11)

$$O_{qq}^{1(ijkl)} = (\bar{q}_i\gamma^\mu q_j)(\bar{q}_k\gamma_\mu q_l),$$
$$O_{qq}^{3(ijkl)} = (\bar{q}_i\gamma^\mu\tau^I q_j)(\bar{q}_k\gamma_\mu\tau^I q_l),$$
$$O_{qu}^{1(ijkl)} = (\bar{q}_i\gamma^\mu q_j)(\bar{u}_k\gamma_\mu u_l),$$
$$O_{qu}^{8(ijkl)} = (\bar{q}_i\gamma^\mu T^A q_j)(\bar{u}_k\gamma_\mu T^A u_l),$$
$$O_{qd}^{1(ijkl)} = (\bar{q}_i\gamma^\mu q_j)(\bar{d}_k\gamma_\mu d_l),$$
$$O_{qd}^{8(ijkl)} = (\bar{q}_i\gamma^\mu T^A q_j)(\bar{d}_k\gamma_\mu T^A d_l),$$
$$O_{uu}^{(ijkl)} = (\bar{u}_i\gamma^\mu u_j)(\bar{u}_k\gamma_\mu u_l),$$
$$O_{ud}^{1(ijkl)} = (\bar{u}_i\gamma^\mu u_j)(\bar{d}_k\gamma_\mu d_l),$$
$$O_{ud}^{8(ijkl)} = (\bar{u}_i\gamma^\mu T^A u_j)(\bar{d}_k\gamma_\mu T^A d_l),$$
$$\mathcal{O}_{quqd}^{1(ijkl)} = (\bar{q}_i u_j)\,\varepsilon\,(\bar{q}_k d_l),$$
$$\mathcal{O}_{quqd}^{8(ijkl)} = (\bar{q}_i T^A u_j)\,\varepsilon\,(\bar{q}_k T^A d_l),$$

Two-quark operators (9)

$$\mathcal{O}_{u\varphi}^{(ij)} = \bar{q}_i u_j \tilde{\varphi}\,(\varphi^\dagger\varphi),$$
$$O_{\varphi q}^{1(ij)} = (\varphi^\dagger i\overleftrightarrow{D}_\mu\varphi)(\bar{q}_i\gamma^\mu q_j),$$
$$O_{\varphi q}^{3(ij)} = (\varphi^\dagger i\overleftrightarrow{D}^I_\mu\varphi)(\bar{q}_i\gamma^\mu\tau^I q_j),$$
$$O_{\varphi u}^{(ij)} = (\varphi^\dagger i\overleftrightarrow{D}_\mu\varphi)(\bar{u}_i\gamma^\mu u_j),$$
$$\mathcal{O}_{\varphi ud}^{(ij)} = (\tilde{\varphi}^\dagger iD_\mu\varphi)(\bar{u}_i\gamma^\mu d_j),$$
$$\mathcal{O}_{uW}^{(ij)} = (\bar{q}_i\sigma^{\mu\nu}\tau^I u_j)\,\tilde{\varphi}\,W^I_{\mu\nu},$$
$$\mathcal{O}_{dW}^{(ij)} = (\bar{q}_i\sigma^{\mu\nu}\tau^I d_j)\,\varphi\,W^I_{\mu\nu},$$
$$\mathcal{O}_{uB}^{(ij)} = (\bar{q}_i\sigma^{\mu\nu} u_j)\quad\tilde{\varphi}\,B_{\mu\nu},$$
$$\mathcal{O}_{uG}^{(ij)} = (\bar{q}_i\sigma^{\mu\nu} T^A u_j)\,\tilde{\varphi}\,G^A_{\mu\nu},$$

Two-quark-two-lepton operators (8)

$$O_{lq}^{1(ijkl)} = (\bar{l}_j\gamma^\mu l_j)(\bar{q}_k\gamma^\mu q_l),$$
$$O_{lq}^{3(ijkl)} = (\bar{l}_j\gamma^\mu\tau^I l_j)(\bar{q}_k\gamma^\mu\tau^I q_l),$$
$$O_{lu}^{(ijkl)} = (\bar{l}_j\gamma^\mu l_j)(\bar{u}_k\gamma^\mu u_l),$$
$$O_{eq}^{(ijkl)} = (\bar{e}_j\gamma^\mu e_j)(\bar{q}_k\gamma^\mu q_l),$$
$$O_{eu}^{(ijkl)} = (\bar{e}_j\gamma^\mu e_j)(\bar{u}_k\gamma^\mu u_l),$$
$$\mathcal{O}_{lequ}^{1(ijkl)} = (\bar{l}_i e_j)\,\varepsilon\,(\bar{q}_k u_l),$$
$$\mathcal{O}_{lequ}^{3(ijkl)} = (\bar{l}_i\sigma^{\mu\nu} e_j)\,\varepsilon\,(\bar{q}_k\sigma_{\mu\nu} u_l),$$
$$\mathcal{O}_{ledq}^{(ijkl)} = (\bar{l}_i e_j)(\bar{d}_k q_l),$$

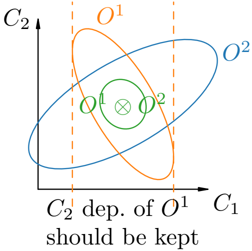
+ $\not{B}$ and $\not{L}$ operators (4 or 5)

Others should be sufficiently constrained by processes involving no tops.

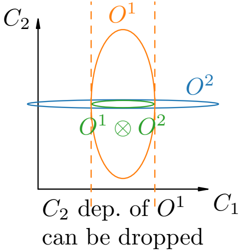
Relevant contributions

Use present sensitivities and constraints
rather than theoretical prejudices
to decide which contributions are relevant.

1. work on an obs.-by-obs. basis (O^k)
2. evaluate all tree-level contributions
3. discard dependences when irrelevant
4. compute higher orders in SM couplings where necessary



Note the relevance of d.o.f.'s in a measurement may change as constraints are collected!



Flavour assumptions

(FCNCs treated separately)

To prioritize the study of flavour structures

Lepton sector (not critical)

- rather loose $[U(1)_{l+e}]^3$ aka flavour diagonality
- could easily be restricted to $U(3)_{l+e}$, $U(3)_l \times U(3)_e$, or ...

Quark sector (baseline and variants)

mostly restrict the large number of four-quark operators

Baseline $U(2)_q \times U(2)_u \times U(2)_d$ among first two generations

$\equiv$ SM flavour symmetry in the limit $y_{u,d,s,c} \to 0$, $V_{\text{CKM}} \to \mathbb{I}$
forces the first two generations to appear as $\sum_{i=1,2} \bar{q}_i q_i$, $\bar{u}_i u_i$, $\bar{d}_i d_i$

Extended to $U(2)_{q+u+d}$ [sugg. by J.A.Aguilar Saavedra]

- allows light right-handed charged currents $\sum_{i=1,2} \bar{u}_i d_i$
- allows light chirality flipping currents $\sum_{i=1,2} \bar{q}_i u_i$, $\bar{q}_i d_i$

Restricted to *top-philic* scenario [sugg. by A.Wulzer]

- assumes NP generates all operators with tops and bosons
- then project that over-complete set on the Warsaw basis with EOM, etc.

Fix notation

Top-specific d.o.f. definitions

Match interference structures
and interactions with physical gauge bosons

- $$\begin{pmatrix} O_{\varphi q}^{1(33)} \\ O_{\varphi q}^{3(33)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\varphi^\dagger i\overleftrightarrow{D}_\mu \varphi)(\bar{q}_3\gamma^\mu q_3) \\ (\varphi^\dagger i\overleftrightarrow{D}^I_\mu \varphi)(\bar{q}_3\gamma^\mu \tau^I q_3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \frac{+e}{2s_w c_w} & (\bar{t}\gamma^\mu P_L t) & Z_\mu & (v+h)^2 \\ \frac{-e}{2s_w c_w} & (\bar{b}\gamma^\mu P_L b) & Z_\mu & (v+h)^2 \\ \frac{g}{\sqrt{2}} & (\bar{t}\gamma^\mu P_L b) & W_\mu^+ & (v+h)^2 \\ \frac{g}{\sqrt{2}} & (\bar{b}\gamma^\mu P_L t) & W_\mu^- & (v+h)^2 \end{pmatrix}$$

  $c_{\varphi Q}^- \equiv C_{\varphi q}^{1(33)} - C_{\varphi q}^{3(33)}$ enters in $pp \to t\bar{t}Z$
  $c_{\varphi Q}^3 \equiv C_{\varphi q}^{3(33)}$ enters in $t \to bW^+$
  $c_{\varphi Q}^+ \equiv C_{\varphi q}^{1(33)} + C_{\varphi q}^{3(33)}$ enters in $e^+e^- \to b\bar{b}$ (or $pp \to b\bar{b}Z$)

- $$\begin{pmatrix} O_{qq}^{1(ii33)} \\ O_{qq}^{1(i33i)} \\ O_{qq}^{3(ii33)} \\ O_{qq}^{3(i33i)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1/6 & 0 & 1/2 \\ 0 & 1/6 & 1 & -1/6 \\ 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} (\bar{q}_i\gamma^\mu q_i)\,(\bar{Q}\gamma_\mu Q) \\ (\bar{q}_i\gamma^\mu \tau^I q_i)\,(\bar{Q}\gamma_\mu \tau^I Q) \\ (\bar{q}_i\gamma^\mu T^A q_i)\,(\bar{Q}\gamma_\mu T^A Q) \\ (\bar{q}_i\gamma^\mu \tau^I T^A q_i)\,(\bar{Q}\gamma_\mu \tau^I T^A Q) \end{pmatrix}$$

  $c_{Qq}^{1,1} \equiv C_{qq}^{1(ii33)} + \frac{1}{6} C_{qq}^{1(i33i)} + \frac{1}{2} C_{qq}^{3(i33i)}$ interferes with EW NC
  $c_{Qq}^{3,1} \equiv C_{qq}^{3(ii33)} + \frac{1}{6}(C_{qq}^{1(i33i)} - C_{qq}^{3(i33i)})$ interferes with EW CC
  $c_{Qq}^{1,8} \equiv C_{qq}^{1(i33i)} + 3C_{qq}^{3(i33i)}$, interferes with QCD
  $c_{Qq}^{3,8} \equiv C_{qq}^{1(i33i)} - C_{qq}^{3(i33i)}$ doesn't interfere with EW CC

Counting and constraints

	benchmark	extended	restricted
four heavy quarks	$11+2$ CPV		5
two light and two heavy quarks	14	$+10+10$ CPV	} 5
two heavy quarks and two leptons	$(8+3\ \text{CPV})\times 3$		
two heavy quarks and bosons	$9+6$ CPV		$9+6$ CPV

Indicative direct constraints:

[many from TopFitter]

Four-heavy ($11+2$ CPV d.o.f.)	Indicative direct limits
$c^{1}_{QQ} \equiv 2C^{1(3333)}_{qq} - \frac{2}{3}C^{3(3333)}_{qq}$	
$c^{8}_{QQ} \equiv 8C^{3(3333)}_{qq}$	
$!c^{+}_{QQ} \equiv C^{1(3333)}_{qq} + C^{3(3333)}_{qq}$	$[-2.92, 2.80]$ ($E_{cut} = 3$ TeV) [35]
$c^{1}_{Qt} \equiv C^{1(3333)}_{qu}$	$[-4.97, 4.90]$ ($E_{cut} = 3$ TeV) [35]
$c^{8}_{Qt} \equiv C^{8(3333)}_{qu}$	$[-10.3, 9.33]$ ($E_{cut} = 3$ TeV) [35]
$c^{1}_{Qb} \equiv C^{1(3333)}_{qd}$	
$c^{8}_{Qb} \equiv C^{8(3333)}_{qd}$	
$c^{1}_{tt} \equiv C^{(3333)}_{uu}$	$[-2.92, 2.80]$ ($E_{cut} = 3$ TeV) [35]
$c^{1}_{tb} \equiv C^{1(3333)}_{ud}$	
$c^{8}_{tb} \equiv C^{8(3333)}_{ud}$	
$c^{1[I]}_{QtQb} \equiv {}^{[\mathrm{Im}]}_{\mathrm{Re}}\{C^{1(3333)}_{quqd}\}$	
$c^{8[I]}_{QtQb} \equiv {}^{[\mathrm{Im}]}_{\mathrm{Re}}\{C^{8(3333)}_{quqd}\}$	
Two-light-two-heavy (14 d.o.f.)	
$c^{3,1}_{Qq} \equiv C^{3(ii33)}_{qq} + \frac{1}{6}(C^{1(i33i)}_{qq} - C^{3(i33i)}_{qq})$	$[-0.66, 1.24]$ [36], $[-3.11, 3.10]$ [35]
$c^{3,8}_{Qq} \equiv C^{1(i33i)}_{qq} - C^{3(i33i)}_{qq}$	$[-6.06, 6.73]$ [35]
$c^{1,1}_{Qq} \equiv C^{1(ii33)}_{qq} + \frac{1}{6}C^{1(i33i)}_{qq} + \frac{1}{2}C^{3(i33i)}_{qq}$	$[-3.13, 3.15]$ [35]
$c^{1,8}_{Qq} \equiv C^{1(i33i)}_{qq} + 3C^{3(i33i)}_{qq}$	$[-6.92, 4.93]$ [35]

[$\Lambda = 1$ TeV]

Tree-level UFO implementations

As TH/EXP interfaces

- dedicated `dim6top`
  - $O(90)$ d.o.f.'s of the extended flavour scenario
- `SMEFTsim` alternative [Brivio,Jiang,Trott '17]
  - implementing Warsaw operators
  - providing restriction cards for emulating d.o.f.'s

Benchmark dependences (cross checked among the two models)

e.g. linear contributions to total rates: permil of the SM rate, $\Lambda = 1$ TeV

		$pp \to t\bar{t}$	$pp \to t\bar{t}\,b\bar{b}$	$pp \to t\bar{t}\,t\bar{t}$	$pp \to t\bar{t}\,e^+\nu$	$pp \to t\bar{t}\,e^+e^-$	$pp \to t\bar{t}\,\gamma$	$pp \to t\bar{t}\,h$
SM		5.2×10^2 pb	2.3 pb	0.0099 pb	0.02 pb	0.016 pb	1.5 pb	0.4 pb
c^1_{QQ}	`cQQ1`	−0.25	−1.5	-1×10^2		−1.6	−0.66	−0.71
c^8_{QQ}	`cQQ8`	−0.16	−2.5	−32		−0.91	−0.49	−0.28
c^1_{Qt}	`cQt1`	−0.15	−4.3	1×10^2		−0.77	−0.19	−0.56
c^8_{Qt}	`cQt8`	−0.053	−1.5	−39		−0.18	−0.094	−0.15
c^1_{Qb}	`cQb1`	−0.0055	0.53	−0.051		−0.014	−0.0069	−0.029
c^8_{Qb}	`cQb8`	0.14	3.2	0.12		0.35	0.16	0.57
c^1_{tt}	`ctt1`			-1.6×10^2				
c^1_{tb}	`ctb1`	−0.0096	0.36	−0.056		−0.02	−0.023	−0.04
c^8_{tb}	`ctb8`	0.14	2.9	0.11		0.26	0.3	0.58
$c^{3,8}_{Qq}$	`cQq83`	2.6	2	5	−84	−19	10	16
$c^{1,8}_{Qq}$	`cQq81`	12	20	24	2.6×10^2	73	36	73
c^8_{tq}	`ctq8`	12	21	27	2.6×10^2	63	54	73
c^8_{Qu}	`cQu8`	7.2	12	18		21	42	44
c^8_{tu}	`ctu8`	7.5	11	15		14	23	44
c^8_{Qd}	`cQd8`	5	8.3	11		17	6.8	28
c^8_{td}	`ctd8`	4.8	7.2	10		12	14	28
$c^{3,1}_{Qq}$	`cQq13`	3.3	5.3	5.1	1.1×10^2	22	11	19
$c^{1,1}_{Qq}$	`cQq11`	0.82	0.19	−7.9	6.1	4.8	2.8	6.2

Tree-level UFO implementations

As TH/EXP interfaces

- dedicated `dim6top`
  - $O(90)$ d.o.f.'s of the extended flavour scenario
- `SMEFTsim` alternative [Brivio,Jiang,Trott '17]
  - implementing Warsaw operators
  - providing restriction cards for emulating d.o.f.'s

Benchmark dependences (cross checked among the two models)

e.g. quadratic contributions to total rates: pb, $pp \to t\bar{t}$, $\Lambda = 1$ TeV

	c^1_{QQ}	c^8_{QQ}	c^1_{Qt}	c^8_{Qt}	c^1_{Qb}	c^8_{Qb}	c^1_{tt}	c^1_{tb}	c^8_{tb}
c^1_{QQ}	0.037	-1.3×10^{-18}	0.016	1.4×10^{-19}	·	·	·	·	·
c^8_{QQ}	·	0.0081	-2.8×10^{-19}	0.0035	·	·	·	·	·
c^1_{Qt}	·	·	0.037	6.5×10^{-19}	·	·	·	·	·
c^8_{Qt}	·	·	·	0.0081	·	·	·	·	·
c^1_{Qb}	·	·	·	·	0.037	6.2×10^{-19}	·	0.016	1.4×10^{-19}
c^8_{Qb}	·	·	·	·	·	0.0081	·	1.4×10^{-19}	0.0035
c^1_{tt}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{tb}	·	·	·	·	·	·	·	0.037	6.5×10^{-19}
c^8_{tb}	·	·	·	·	·	·	·	·	0.0081
$c^{3,8}_{Qq}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{1,8}_{Qq}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{tq}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{Qu}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{tu}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{Qd}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{td}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{3,1}_{Qq}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{1,1}_{Qq}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{tq}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{Qu}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{tu}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{Qd}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{td}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c_{t\varphi}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^-_{\varphi Q}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^3_{\varphi Q}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c_{\varphi t}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c_{\varphi tb}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{tW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{tZ}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{bW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{tG}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^I_{t\varphi}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^I_{\varphi tb}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{tW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{tZ}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{bW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{tG}	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{3(1)}_{Ql}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{-(1)}_{Ql}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{Qe}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{te}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{S(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{T(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{S(1)}_{bl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·

	$c^{3,8}_{Qq}$	$c^{1,8}_{Qq}$	c^8_{tq}	c^8_{Qu}	c^8_{tu}	c^8_{Qd}	c^8_{td}	$c^{3,1}_{Qq}$	$c^{1,1}_{Qq}$	c^1_{tq}	c^1_{Qu}	c^1_{tu}	c^1_{Qd}	c^1_{td}
c^1_{QQ}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{QQ}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{Qt}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{Qt}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{Qb}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{Qb}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{tt}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^1_{tb}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^8_{tb}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{3,8}_{Qq}$	1.2	0.57	0.073	·	·	·	·	9.8×10^{-17}	5.9×10^{-17}	3×10^{-18}	·	·	·	·
$c^{1,8}_{Qq}$	·	1.2	0.34	·	·	·	·	5.9×10^{-17}	9.4×10^{-17}	1.4×10^{-17}	·	·	·	·
c^8_{tq}	·	·	1.2	·	·	·	·	2.7×10^{-18}	1.3×10^{-17}	9.3×10^{-17}	·	·	·	·
c^8_{Qu}	·	·	·	0.74	0.2	·	·	·	·	·	6.1×10^{-17}	7.9×10^{-18}	·	·
c^8_{tu}	·	·	·	·	0.76	·	·	·	·	·	8.2×10^{-18}	5.7×10^{-17}	·	·
c^8_{Qd}	·	·	·	·	·	0.47	0.13	·	·	·	·	·	3.7×10^{-17}	5.1×10^{-18}
c^8_{td}	·	·	·	·	·	·	0.47	·	·	·	·	·	5.4×10^{-18}	3.7×10^{-17}
$c^{3,1}_{Qq}$	·	·	·	·	·	·	·	5.5	6.8	0.33	·	·	·	·
$c^{1,1}_{Qq}$	·	·	·	·	·	·	·	·	5.5	1.5	·	·	·	·
c^1_{tq}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	5.4	·	·	·	·
c^1_{Qu}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	3.3	0.91	·	·
c^1_{tu}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	3.4	·	·
c^1_{Qd}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2.1	0.6
c^1_{td}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	2.1
$c_{t\varphi}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^-_{\varphi Q}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^3_{\varphi Q}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c_{\varphi t}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c_{\varphi tb}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{tW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{tZ}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{bW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c_{tG}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^I_{t\varphi}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^I_{\varphi tb}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{tW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{tZ}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{bW}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
c^I_{tG}	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{3(1)}_{Ql}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{-(1)}_{Ql}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{Qe}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{te}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{S(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{T(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
$c^{S(1)}_{bl}$	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·

	$c_{t\varphi}$	$c^-_{\varphi Q}$	$c^3_{\varphi Q}$	$c_{\varphi t}$	$c_{\varphi tb}$
c^1_{QQ}	·	0.00044	-0.016	0.00053	·
c^8_{QQ}	·	-7.8×10^{-21}	-0.019	-9.6×10^{-21}	·
c^1_{Qt}	·	0.00058	-0.0087	0.0013	·
c^8_{Qt}	·	5×10^{-21}	-0.012	1.2×10^{-20}	·
c^1_{Qb}	·	-0.00024	·	-9.8×10^{-5}	·
c^8_{Qb}	·	-2.3×10^{-21}	·	-8.6×10^{-22}	·
c^1_{tt}	·	·	·	·	·
c^1_{tb}	·	-9.8×10^{-5}	·	-0.00024	·
c^8_{tb}	·	-8.5×10^{-22}	·	-2.1×10^{-21}	·
$c^{3,8}_{Qq}$	·	-9×10^{-19}	·	-2.9×10^{-19}	·
$c^{1,8}_{Qq}$	·	-1.3×10^{-19}	·	-2.9×10^{-20}	·
c^8_{tq}	·	-2.9×10^{-20}	·	-7.4×10^{-20}	·
c^8_{Qu}	·	2.2×10^{-19}	·	7×10^{-20}	·
c^8_{tu}	·	7×10^{-20}	·	2.1×10^{-19}	·
c^8_{Qd}	·	-6.6×10^{-20}	·	-2.4×10^{-20}	·
c^8_{td}	·	-2.4×10^{-20}	·	-7×10^{-20}	·
$c^{3,1}_{Qq}$	·	-0.096	·	-0.032	·
$c^{1,1}_{Qq}$	·	-0.011	·	-0.0035	·
c^1_{tq}	·	-0.0034	·	-0.011	·
c^1_{Qu}	·	0.024	·	0.008	·
c^1_{tu}	·	0.008	·	0.024	·
c^1_{Qd}	·	-0.008	·	-0.0027	·
c^1_{td}	·	-0.0027	·	-0.008	·
$c_{t\varphi}$	3.9×10^{-7}	·	·	·	-3.5×10
$c^-_{\varphi Q}$	·	0.0012	-0.00069	0.00098	·
$c^3_{\varphi Q}$	·	·	0.032	-0.00064	3.4×10
$c_{\varphi t}$	·	·	·	0.0012	·
$c_{\varphi tb}$	·	·	·	·	0.0043
c_{tW}	·	·	·	·	·
c_{tZ}	·	·	·	·	·
c_{bW}	·	·	·	·	·
c_{tG}	·	·	·	·	·
$c^I_{t\varphi}$	·	·	·	·	·
$c^I_{\varphi tb}$	·	·	·	·	·
c^I_{tW}	·	·	·	·	·
c^I_{tZ}	·	·	·	·	·
c^I_{bW}	·	·	·	·	·
c^I_{tG}	·	·	·	·	·
$c^{3(1)}_{Ql}$	·	·	·	·	·
$c^{-(1)}_{Ql}$	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{Qe}$	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·
$c^{(1)}_{te}$	·	·	·	·	·
$c^{S(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·
$c^{T(1)}_{tl}$	·	·	·	·	·
$c^{S(1)}_{bl}$	·	·	·	·	·

Discuss analysis strategies

Warning: illustrative theorist view!

- to show how the challenges of a global EFT could be addressed
- to fix ideas on what are useful outputs from a TH perspective

An example of EFT analysis strategy

Choose a (particle-level) fiducial volume close enough to the detector level for unfolding to be very model independent.

to be checked!

$\longrightarrow$ facilitates re-interpretations

- in an evolving global EFT picture
- with more sophisticated predictions
- with less restrictive assumptions (about flavour, non-top operators, etc.)
- outside experimental collaboration

$\longrightarrow$ facilitates multidimensional EFT analyses

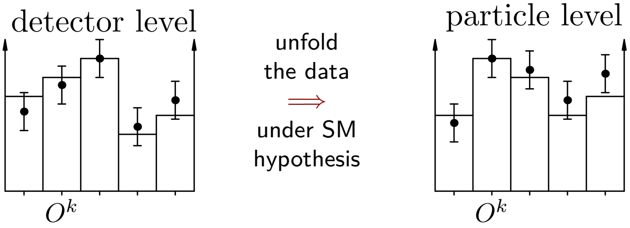
$\longrightarrow$ but may sometimes be impractical or suboptimal

An example of EFT analysis strategy

For O^k observables

total rate, binned p_T, η, m_{xy}, etc. distributions,
binned MVA output, ratios, asymmetries, *optimal observables*,...

Unfold



Provide

- observable definitions (code if non-standard)
- statistical uncertainties
- systematics breakdown and correlations

($\rightarrow$ re-interpretable in any model)

Global EFT interpretation

– Compute EFT predictions to the particle level

$$O^k = B_I^k + \frac{C_i}{\Lambda^2} S_i^k + \frac{C_i C_j}{\Lambda^4} S_{ij}^k + \cdots$$

SM bkg composition

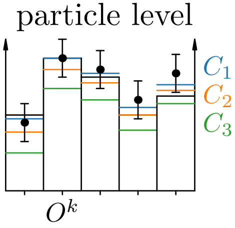
linear dim-6 contributions (EFT-SM interf.)

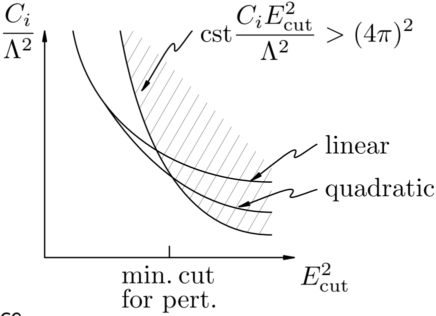
quadratic dim-6 contributions

higher powers, and higher-dim. operators

– Obtain and release likelihoods in the full $\{C_i\}$ space

$\equiv$ **global** constraints to combine with other measurements

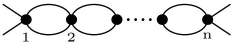




– also quote **individual** constraints
  → information about sensitivity
    and the magnitude
    of approximate degeneracies

– quote both the **linear**
  and **quadratic** dim-6 approx.
  → information about the importance
    of higher powers of dim-6 coeff.

– quote limits as functions of $\boldsymbol{E_{\mathrm{cut}}}$ on a characteristic energy scale
  → valid interpretation for models [Contino et al '16]
    with lower scales,
    with [dim>6] > [dim-6] without E_{cut}
  → perturbativity possibly ensured by minimal E_{cut}

$\sum_n \Big[$  $\Big] \sim \sum_n \left[\mathrm{cst}\,\frac{C_i E_{\mathrm{cut}}^2}{(4\pi)^2\Lambda^2}\right]^n$

Summary

Left aside

Higher-order corrections

especially in QCD, based on existing results

Theory uncertainties

especially the intrinsic EFT ones

EFT treatment of unstable tops

Process and observable sensitivity studies

- largest strength in specific directions
- complementarity to cover the whole EFT param. space

...

Covered

Delimit an initial scope

- address only processes involving top quarks
- decide which contributions are relevant, in principle
- prioritize the study of flavour structures

Fix notation

- define d.o.f. natural for top physics at the LHC
- fix notation, normalization, and indicative allowed ranges
- provide simulation tools as TH/EXP interface

Discuss analysis strategies (one example)

- address the challenges of a global EFT
- highlight useful experimental outputs

A wide agreement was reached among theorists.
A summary note will be released in days.